



**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN *DUAL FUEL* LNG CARRIER UNTUK SUPLAI  
BAHAN BAKAR LNG DI ALUR PELAYARAN BARAT  
SURABAYA (APBS)**

**Gede Bayu Bandis Pratama  
NRP 4113100022**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**





**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN *DUAL FUEL* LNG CARRIER UNTUK SUPLAI  
BAHAN BAKAR LNG DI ALUR PELAYARAN BARAT  
SURABAYA (APBS)**

**Gede Bayu Bandis Pratama  
NRP 4113100022**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**FINAL PROJECT - MN 141581**

**DESIGN OF DUAL FUEL LNG CARRIER TO SUPPLY LNG  
AS FUEL IN SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL(SWAC)**

**Gede Bayu Bandis Pratama  
NRP 4113100022**

**Supervisor  
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* UNTUK SUPPLAI BAHAN BAKAR LNG DI ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

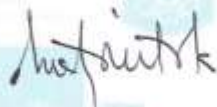
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**GEDE BAYU BANDIS PRATAMA**  
NRP 4113100022

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.  
NIP 19681212 199402 2 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 18 JULI 2017

## LEMBAR REVISI

### DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* UNTUK SUPPLAI BAHAN BAKAR LNG DI ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

#### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 5 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**GEDE BAYU BANDIS PRATAMA**  
NRP 4113100022

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

  
.....

2. Hasanudin, S.T., M.T.

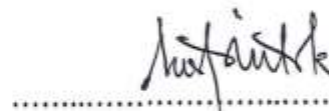
  
.....

3. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.

  
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

  
.....

SURABAYA, 18 JULI 2017

Dipersembahkan untuk Tuhan, bangsa, almamater dan keluarga

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan ilmu, serta senantiasa memberikan arahan dan masukan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan ITS;
3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. selaku Dosen Wali dan juga selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Hasanudin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
5. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
6. Danu Utama, S.T., M.T. selaku yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
7. Keluarga Penulis, Ni Kadek Sarini, I Gede Warastana, Ketut Winda Utami dan Ketut Adittama, yang telah menjadi motivator penulis untuk meraih masa depan;
8. Pepe, Sena, Titin, Artha, Tusan, Kevin, Arie, Indra, dan Mas Suto selaku teman-teman seperjuangan bimbingan Tugas Akhir.
9. Dan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 18 Juli 2017

Gede Bayu Bandis Pratama



# DESAIN *DUAL FUEL* LNG CARRIER UNTUK SUPLAI BAHAN BAKAR LNG DI ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

Nama Mahasiswa : Gede Bayu Bandis Pratama  
NRP : 4113100022  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

## ABSTRAK

Kebutuhan masyarakat dunia akan sumber energi terus meningkat dari tahun ke tahun, baik bahan bakar minyak maupun gas. Saat ini bahan bakar minyak sudah banyak digantikan dengan bahan bakar gas seperti LNG dan LPG. Kelebihan dari LNG yaitu memiliki potensi ekonomi yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak apabila digunakan sebagai bahan bakar penggerak kapal, LNG memenuhi sebagian besar persyaratan *emission control area* (ECA), teknologi yang digunakan sudah terbukti dan sudah banyak dipakai, dan memiliki fleksibilitas dalam hal *bunkering*. Meningkatnya jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Surabaya Barat akan berbanding lurus dengan polusi yang akan dihasilkan oleh gas buang dari kapal. Oleh karena itu, banyak pemilik kapal mulai beralih dari mesin diesel ke mesin *dual fuel*. Untuk mempermudah dalam transfer bahan bakar LNG dari LNG Bunkering *Onshore* ke kapal yang membutuhkan bahan bakar LNG, maka dari itu dalam tugas akhir ini mengusulkan Desain *Dual Fuel* LNG Carrier untuk suplai bahan bakar LNG di alur pelayaran barat Surabaya, dengan adanya Kapal LNG Carrier ini dapat mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal untuk proses pengisian bahan bakar. Payload dari *Dual Fuel* LNG Carrier ini didapatkan berdasarkan data kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak yang dihitung kebutuhan bahan bakar LNG untuk setiap harinya. Kemudian ditentukan ukuran tanki LNG yang sesuai untuk mencari ukuran utama kapal, sehingga didapatkan ukuran utama kapal dari *layout* tangki LNG *type C* 1500 m<sup>3</sup>. Setelah itu dilakukan perhitungan teknis berupa perhitungan berat, *trim*, *freeboard*, dan stabilitas. Ukuran utama yang didapatkan adalah Lpp = 52 m; B = 14,8 m; H = 6,2 m; T = 3,5 m. Tinggi *freeboard* minimum sebesar 613,08 mm, besarnya *tonnage* kapal adalah 1539,376 GT, dan kondisi stabilitas *Dual Fuel* LNG Carrier memenuhi kriteria *Intact Stability (IS) Code Reg. III/3.1*. Analisis ekonomis yang dilakukan adalah memperhitungkan biaya pembangunan (investasi), biaya operasional, serta estimasi *Breakeven Point* (BEP). Biaya pembangunan *Dual Fuel* LNG Carrier ini sebesar Rp. 37.837.629.171 dan estimasi BEP pada bulan ke-53 dengan estimasi pengambilan keuntungan bersih sebesar Rp 726.737.621,15. Penggunaan bahan bakar *dual fuel* (LNG dan MDO) lebih hemat 70% dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *konvensional* yaitu MDO.

Kata kunci: Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS), *Dual Fuel*, LNG, MDO , LNG Carrier.

# **DESIGN OF DUAL FUEL LNG CARRIER TO SUPPLY LNG AS FUEL IN SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL (SWAC)**

Author : Gede Bayu Bandis Pratama  
ID No. : 4113100022  
Dept. / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

## **ABSTRACT**

The need of the world community on energy sources increases from year to year, both oil fuel and gas. Currently, oil fuel has been replaced with many gas fuels such as LNG and LPG. The advantage of LNG is that it has a cheaper economic potential compared to fuel oil when used as a ship propulsion fuel, LNG meets most of the emission control area (ECA) requirements, the technology used has been proven and widely used, and has flexibility in terms of bunkering. The increasing number of ship visits in the West Surabaya shipping line will be directly proportional to the pollution that will be generated by exhaust gasses from the vessel. Referring to these circumstances, many shipowners began to move from diesel engine to dual fuel engine. To facilitate the transfer of LNG fuel from LNG Bunkering Onshore to vessel that requires LNG fuel, therefore in this final project proposes Dual Fuel LNG Carrier Design to supply LNG fuel in West Surabaya shipping line, in the presence of Carrierini LNG Vessel can accelerate and increase the flexibility of ships for refueling. Payload from Dual Fuel LNG Carrier was obtained based on ship visit data at Port of Tanjung Perak which calculated the needs of LNG fuel for every day. Then, it was determined the appropriate size of LNG tank to find the main size of the ship, and it was obtained the main size of the vessel from the layout of LNG tank type C 1500 m<sup>3</sup>. After that, technical calculation was done in terms of weight, trim, freeboard, and stability. The main size obtained was Lpp = 52 m; B = 14.8 m; H = 6.2 m; T = 3.5 m. The height minimum freeboard was 613.08 mm, the ship's tonnage was 1539,376 GT, and the stability condition of Dual Fuel LNG Carrier meets the criteria of Intact Stability (IS) Code Reg. III / 3.1. The economic calculation and analysis such as building cost, operational cost and Break Even Point (BEP) estimation. The building cost is estimated at Rp. 37.837.629.171 and BEP within 53 months with estimated revenue at Rp 726.737.621,15. The use of dual fuel (LNG and MDO) is more cheaper 70% than using conventional fuel (MDO).

**Keywords:** Surabaya West Access Channel (SWAC), Dual Fuel, LNG, MDO, LNG Carrier.

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI .....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR SIMBOL .....	xiii
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang Masalah .....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	2
I.3. Tujuan .....	3
I.4. Batasan Masalah .....	3
I.5. Manfaat .....	4
I.6. Hipotesis .....	4
Bab II STUDI LITERATUR .....	5
II.1. Dasar Teori .....	5
II.1.1. Kapal Pengangkut Gas Alam Cair ( <i>LNG Carrier</i> ) .....	5
II.1.2. LNG (Liquefied Natural Gas) .....	6
II.1.3. Proses Pencairan Gas Alam .....	7
II.1.4. Jenis Tangki Muatan <i>LNG Carrier</i> .....	10
II.1.5. MARPOL ANNEX VI .....	12
II.1.6. MARPOL ANNEX I .....	14
II.1.7. Perhitungan Stabilitas .....	15
II.1.8. Perhitungan <i>Freeboard</i> .....	20
II.1.9. Biaya Pembangunan .....	21
II.2. Tinjauan Pustaka .....	21
II.2.1. Potensi Gas Alam Indonesia .....	21
II.2.2. Metode Suplai LNG <i>Bunkering Onshore to Ship</i> .....	22
II.2.3. Metode Suplai LNG <i>Bunkering Ship to Ship</i> .....	23
II.2.4. Sistem Permesinan <i>Dual Fuel</i> .....	24
II.3. Tinjauan Wilayah .....	25
Bab III METODOLOGI .....	27
III.1. Diagram Alir .....	27
III.2. Proses Pengerjaan .....	29
III.2.1. Tahap Identifikasi Masalah .....	29
III.2.2. Tahap Studi Literatur .....	29
III.2.3. Tahap Pengumpulan Data .....	30
III.2.4. Tahap Pengolahan Data .....	30
III.2.5. Tahap Perencanaan .....	31
III.2.6. Perhitungan Biaya .....	31

III.2.7. Kesimpulan dan Saran .....	31
Bab IV ANALISIS TEKNIS .....	33
IV.1. Umum .....	33
IV.2. Penentuan <i>Payload</i> .....	33
IV.3. Penentuan Ukuran Utama .....	45
IV.4. Perhitungan Teknis .....	48
IV.4.1. Perhitungan Koefisien.....	48
IV.4.2. Perhitungan Hambatan.....	49
IV.4.3. Perhitungan Berat Baja Kapal.....	50
IV.4.4. Perhitungan Berat Peralatan dan Perlengkapan .....	51
IV.4.5. Perhitungan DWT .....	51
IV.4.6. Perhitungan LWT .....	52
IV.4.7. Perhitungan Berat Kapal .....	52
IV.4.8. Perhitungan <i>Tonnase</i> .....	52
IV.4.9. Perhitungan <i>Trim</i> .....	54
IV.4.10. Perhitungan <i>Freeboard</i> .....	54
IV.4.11. Perhitungan Stabilitas .....	55
IV.5. <i>Machinery Arrangement</i> .....	57
IV.5.1. Proses Pembakaran <i>LNG</i> .....	57
IV.5.2. Cara Kerja <i>Dual Fuel Engine</i> .....	57
IV.6. Skenario Sistem Penggerak Kapal .....	58
IV.7. Pembuatan <i>Lines Plan</i> .....	59
IV.8. Pembuatan <i>General Arrangement</i> .....	62
IV.8.1. <i>Side Elevation</i> .....	62
IV.8.2. Rumah Geladak ( <i>Deck House</i> ) .....	63
IV.8.3. Geladak Utama ( <i>Main Deck</i> ) .....	64
IV.8.4. <i>Double Bottom</i> .....	64
IV.9. <i>Hazardous Area</i> .....	65
IV.10. Pemeriksaan <i>Navigation Bridge Visibility</i> .....	65
IV.11. Permodelan 3 Dimensi.....	66
Bab V ANALISIS EKONOMIS .....	69
V.1. Perhitungan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal .....	69
V.2. Perhitungan Estimasi <i>Break Even Point (BEP)</i> .....	72
V.2.1. Biaya Operasional .....	72
V.2.2. Total In-Come Penjualan LNG .....	75
V.2.3. Estimasi Keuntungan Bersih .....	75
V.2.4. Estimasi Perhitungan <i>Break Even Point (BEP)</i> .....	76
V.2.5. Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar <i>Dual Fuel</i> dan konvensional .....	78
Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
VI.1. Kesimpulan .....	79
VI.2. Saran .....	80
DAFTAR PUSTAKA .....	81
LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS	
LAMPIRAN B BERITA PENDUKUNG	
LAMPIRAN C LINES PLAN	
LAMPIRAN D GENERAL ARRANGEMENT	
LAMPIRAN E 3D MODEL	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 <i>LNG Carrier</i> .....	5
Gambar II.2 Komposisi LNG .....	6
Gambar II.3 Proses Pemuatan <i>LNG</i> .....	7
Gambar II.4 Tipe Tangki <i>LNG Carrier</i> .....	10
Gambar II.5 Grafik emisi $\text{NO}_x$ dalam Tier I, II dan III .....	13
Gambar II.6 Batas emisi sulfur bahan bakar minyak dalam tahun 2000-2025 .....	14
Gambar II.7 Penyusunan Tangki Bahan Bakar .....	15
Gambar II.8 Sketsa Momen Penegak atau Pengembali .....	17
Gambar II.9 Kondisi Stabilitas Positif .....	17
Gambar II.10 Kondisi Stabilitas Netral .....	18
Gambar II.11 Kondisi Stabilitas Negatif .....	19
Gambar II.12 Cadangan Gas Bumi Indonesia .....	22
Gambar II.13 Suplai <i>LNG Bunkering Onshore to Ship</i> .....	23
Gambar II.14 Skema Suplai Bahan Bakar <i>LNG</i> .....	24
Gambar II.15 Mesin <i>dual fuel</i> tipe Wartsila 6L50DF .....	25
Gambar II.16 Kondisi Alur Pelayan Barat Surabaya .....	26
Gambar II.17 Alur Pelayan Barat Surabaya .....	26
Gambar III.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	28
Gambar IV.1 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2013 .....	34
Gambar IV.2 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2014 .....	35
Gambar IV.3 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2015 .....	37
Gambar IV.4 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2016 .....	38
Gambar IV.5 Desain <i>LNG Carrier</i> Wartsila .....	45
Gambar IV.6 Ukuran Tangki <i>LNG</i> $1500 \text{ m}^3$ .....	45
Gambar IV.7 Struktur Tangki <i>Bilobe</i> pada <i>LNG Carrier</i> .....	46
Gambar IV.8 Data Kondisi Pelabuhan di APBS .....	46
Gambar IV.9 <i>Layout</i> Awal dari <i>Dual Fuel LNG Carrier</i> .....	47
Gambar IV.10 Required Horsepower .....	50
Gambar IV.11 Proses Pembakaran Bahan Bakar .....	57
Gambar IV.12 Skema <i>Dual Fuel Vessel</i> .....	57
Gambar IV.13 <i>Size surfaces</i> .....	59
Gambar IV.14 <i>Frame Of Reference</i> .....	59
Gambar IV.15 Pengaturan jumlah <i>station</i> .....	60
Gambar IV.16 Data <i>Hydrostatic</i> .....	61
Gambar IV.17 <i>Lines Plan</i> .....	62
Gambar IV.18 <i>Frofile View Dual Fuel LNG Carrier</i> .....	63
Gambar IV.19 <i>Layout</i> Rumah Geladak <i>Dual Fuel LNG Carrier</i> .....	63
Gambar IV.20 <i>Main Deck Dual Fuel LNG Carrier</i> .....	64
Gambar IV.21 <i>Double Bottom Dual Fuel LNG Carrier</i> .....	65
Gambar IV.22. Aturan <i>navigation bridge visibility</i> .....	65
Gambar IV.23 Pemodelan 3D bentuk hull pada <i>software Maxurf Modeler</i> .....	66
Gambar IV.24 Pemodelan 3D Side Elevation Pada <i>Software Sketchup</i> .....	67
Gambar IV.25 Pemodelan 3D Front Elevation Pada <i>Software Sketchup</i> .....	67
Gambar V.1 Grafik Estimasi BEP .....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perbandingan Jenis Tangki Tipe A, B dan C .....	11
Tabel II.2 Batas emisi NO <sub>x</sub> pada Tier I,II dan III .....	13
Tabel IV.1 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2013 .....	34
Tabel IV.2 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2014 .....	35
Tabel IV.3 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2015 .....	36
Tabel IV.4 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2016 .....	38
Tabel IV.5 Klasterisasi Kapal Cargo Berdasarkan DWT .....	39
Tabel IV.6 Klasterisasi Kapal Penumpang Berdasarkan DWT .....	40
Tabel IV.7 Klasterisasi Kapal Tangker Berdasarkan DWT .....	40
Tabel IV.8 Spesifikasi <i>Engine Wartsila 34 DF</i> .....	41
Tabel IV.9 Rute Pelayaran Kapal di APBS .....	42
Tabel IV.10 Perhitungan LNG <i>Fuel Consumption</i> .....	42
Tabel IV.11 <i>Density</i> dan <i>Low Heating Value</i> LNG .....	43
Tabel IV.12 LNG <i>Fuel Consumption</i> di APBS .....	43
Tabel IV.13 Total LNG <i>Fuel Consumption</i> di APBS .....	44
Tabel IV.14 Rekap Perhitungan Hambatan dan Propulsi .....	49
Tabel IV.15 Specification Engine Wartsila 20DF .....	49
Tabel IV.16 Rekapitulasi Berat Peralatan dan Perlengkapan .....	51
Tabel IV.17 Rekapitulasi Perhitungan DWT .....	51
Tabel IV.18 Rekapitulasi Perhitungan LWT .....	52
Tabel IV.19 Rekapitulasi Pengecekan Berat dan Displacement Kapal .....	52
Tabel IV.20 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Trim .....	54
Tabel IV.21 Rekapitulasi Lambung Timbul .....	55
Tabel IV.22 Stabilitas Kapal .....	56
Tabel IV.23 Skenario <i>Dual Fuel</i> .....	58
Tabel V.1 Harga Baja. ....	69
Tabel V.2 Estimasi Biaya Pembangunan Kapal. ....	70
Tabel V.3 Biaya Pasokan LNG .....	72
Tabel V.4 Gaji Pegawai. ....	73
Tabel V.5 Biaya Fuel Oil. ....	73
Tabel V.6 Biaya Bahan Bakar LNG .....	74
Tabel V.7 Biaya Diesel Oil .....	74
Tabel V.8 Biaya Lubrication Oil .....	74
Tabel V.9 Biaya Perawatan dan Asuransi .....	74
Tabel V.10 Total In-Come Penjualan LNG. ....	75
Tabel V.11 Estimasi Keuntungan Bersih Kapal .....	76
Tabel V.12 Hasil Estimasi BEP .....	77
Tabel V.13 Perbandingan Bahan Bakar <i>Dual Fuel</i> dan Konvensional .....	78

## DAFTAR SIMBOL

B	= Lebar Kapal (m)
$C_b$	= <i>Block Coefficient</i>
$C_m$	= <i>Midship Section Coefficient</i>
$C_{wp}$	= <i>Waterplan Coefficient</i>
D	= sarat rata-rata (m)
DHP	= <i>Delivery Horse Power</i> (kW)
EHP	= <i>Effective Horse Power</i> (kW)
$F_r$	= <i>Froude Number</i>
FC	= <i>Fuel Consumption Engine</i> (Kj)
g	= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
GT	= <i>Gross Tonnage</i> (ton)
KB	= jarak antara titik tekan <i>bouyancy</i> ke lunas kapal
KG	= tinggi titik berat di atas bidang dasar (m)
Lwl	= <i>Length of Waterline</i> (m)
LPP	= <i>Length of Perpendiculars</i> (m)
LCB	= <i>Longitudinal Center of Bouyancy</i> (m)
LCG	= <i>Longitudinal Center of Gravity</i> (m)
$M_R$	= Momen oleng (kN.m)
NT	= <i>Net Tonnage</i> (ton)
$R_{tot}$	= <i>Total Resistance</i> (ton)
T	= Sarat Kapal (m)
$V_s$	= kecepatan kapal (m/s)
$V_0$	= kecepatan dinas (m/s)
$\Delta$	= <i>Displacement</i> (ton)
$\nabla$	= <i>Volume Displacement</i> ( $m^3$ )





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang Masalah**

Alur Pelayaran Barat Surabaya merupakan akses untuk kapal-kapal yang akan menuju ke Pelabuhan Tanjung Perak, Teluk Lamong, Gresik, Madura dan sekitarnya. Sebagai jalur pelayaran yang sibuk dan berdasarkan data dari Pelindo III, lalu lintas kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) dari tahun 2009-2015 selalu mengalami peningkatan. Pada tahun 2015 di pelabuhan Tanjung Perak terdapat kunjungan sekitar 14.039 kapal. Meningkatnya jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) akan berbanding lurus dengan polusi yang akan dihasilkan oleh gas buang dari kapal, permintaan bahan bakar kapal, dan akomodasi pelabuhan.

*International Maritime Organization* (IMO) memberlakukan regulasi lingkungan yang ketat mulai awal tahun 2015 lalu, dimana emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> dibatasi maksimal 0.1% untuk kawasan *Emmision Control Area* (ECA). Di luar ECA, regulasi IMO tersebut akan diberlakukan mulai tahun 2020, sesuai dengan MARPOL Annex VI terkait emisi (SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub>), dimana batas emisi yang dihasilkan oleh kapal tidak melebihi 0.50% m/m setelah 1 januari 2020 (IMO, 2009).

Kapal-kapal di Indonesia juga akan menerapkan sistem serupa dalam waktu dekat ini, perusahaan Pelni sudah menjalin kerjasama dalam kajian penggunaan LNG pada kapal penumpang, dengan PT Pertamina Gas (Pertagas), *Memorandum of Understanding* (MoU) kerjasama itu telah ditandatangani di Jakarta. Kerjasama ini untuk membuka kemungkinan penggunaan bahan bakar LNG bagi armada kapal-kapal Indonesia. Melalui dorongan dari Kementerian Perhubungan dan komitmen Badan Usaha Milik Negara (BUMN), yakni PT Perusahaan Gas Negara Tbk, PT Pelni (Persero), dan PT ASDP (Persero), industri galangan kapal, PT. Biro Klasifikasi Indonesia, produsen LNG dan Pelabuhan untuk bersinergi dalam pemanfaatan gas bumi di dalam negeri sebagai bahan bakar penggerak kapal. Menurut data dari PT. Biro Klasifikasi Indonesia saat ini ada 4 kapal konversi yang berbahan bakar gas, belum ada laporan dari kapal yang beroperasi mengalami kegagalan sistem yang mengakibatkan korban jiwa ataupun kerusakan pada kapal. Hal ini dikarenakan

semua kapal tersebut memenuhi semua aturan dari sisi keselamatan maupun dari sisi operasional ([www.Pertamina.com](http://www.Pertamina.com)).

Dengan Kondisi anjloknya harga minyak dunia saat ini, sehingga membuat harga bahan bakar minyak berada titik terendah, tidak membuat posisi LNG sebagai bahan bakar masa depan menjadi goyah. Ini lantaran LNG gas alam yang dicairkan, memiliki banyak kelebihan. Yang pertama, Cadangan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebagai komposisi utama LNG dapat ditemukan di banyak tempat di dunia dalam jumlah yang signifikan. Menurut *International Energy Agency* (IEA) cadangan gas alam cukup untuk memenuhi kebutuhan energi dunia hingga 200 tahun ke depan. Ini belum menghitung tambahan yang signifikan dari penemuan shale gas. Indonesia misalnya, hanya menempati urutan ke-12 dengan cadangan gas alam sebesar 185,8 TSCF (*Triliun Standadr Cubic Feet*), terdiri dari 97,26 TSCF cadangan terbukti dan 88,54 TSCF cadangan potensial. Kelebihan kedua adalah karakteristik gas metana yang rendah emisi karbon, serta rendahnya kandungan  $\text{NO}_x$  dan  $\text{SO}_x$  sehingga membuat LNG menjadi bahan bakar yang paling ramah lingkungan di antara hidrokrabon lainnya. Terutama karena rendahnya emisi karbon tersebut, LNG menjadi bahan bakar yang paling direkomendasikan bagi pelayaran dalam menghadapi era ketatnya regulasi pembatasan emisi karbon dan upaya mitigasi pemanasan global yang menjadi kesepakatan dunia *Conference of Parties* (COP-21) yang dilaksanakan di kota Paris ([www.kompasiana.com](http://www.kompasiana.com)).

Tahun 2020 bukanlah waktu yang lama, sebagai negara eksportir LNG terbesar ke-5 dunia, dan pionir dalam industri LNG, sangat cukup bagi Indonesia untuk mempersiapkan industri pelayaran nasionalnya agar tidak kehilangan daya saing di rute internaional. Mengacu pada keadaan tersebut, banyak pemilik kapal mulai berpidah dari mesin diesel ke mesin *dual fuel*. Dengan adanya penggunaan mesin *dual fuel* pada kapal-kapal di Indonesia maka akan terjadi peningkatan permintaan LNG yang akan mempengaruhi proses pengisian bahan bakar. Penelitian ini mengusulkan desain *Dual Fuel LNG Carrier* untuk suplai bahan bakar LNG di alur pelayaran barat Surabaya sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG, dengan adanya *LNG Carrier* ini dapat mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal untuk proses pengisian bahan bakar di alur pelayaran barat Surabaya.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan *payload* LNG Carrier yang sesuai di Alur Pelayaran Barat Surabaya?
2. Bagaimana desain *Dual Fuel* LNG Carrier yang sesuai dengan karakteristik rute Alur Pelayaran Barat Surabaya meliputi ukuran utama, rencana garis (*Lines plan*), dan rencana umum (*General Arrangement*)?
3. Bagaimana desain *3D model Dual Fuel* LNG Carrier ?
4. Bagaimana analisis ekonomis dari desain *Dual Fuel* LNG Carrier sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya ini?

### **I.3. Tujuan**

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *payload* LNG Carrier yang sesuai di Alur Pelayaran Barat Surabaya;
2. Mendesain *Dual Fuel* LNG Carrier sesuai karakteristik rute pelayaran di Alur Pelayaran Barat Surabaya meliputi ukuran utama, rencana garis (*Lines plan*), dan rencana umum (*General Arrangement*);
3. Menghitung analisis teknis dan ekonomis dari desain *Dual Fuel* LNG Carrier sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya;
4. Mendesain *3D model Dual Fuel* LNG Carrier sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya.

### **I.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku pembuatan kapal menggunakan baja;
2. LNG Carrier ini merupakan kapal yang memiliki fungsi sebagai pengangkut LNG untuk suplai bahan bakar;
3. Rute pelayaran kapal hanya pada Alur Pelayaran Barat Surabaya;
4. Masalah teknis (desain) yang dibahas hanya sebatas *concept design*;
5. Analisis Teknis yang dilakukan pada pengerjaan Tugas Akhir ini meliputi perhitungan hambatan (*resistance*), perhitungan *power* penggerak kapal, stabilitas kapal (*ship stability*), lambung timbul (*Freeboard*), perhitungan trim, pembuatan Rencana Garis (*Linesplan*), Rencana Umum (*General Arrangement*) dan 3D model;
6. Tidak membahas perhitungan konstruksi, kekuatan memanjang, dan kekuatan melintang;

7. Diasumsikan kapal-kapal yang berkunjung ke pelabuhan Tanjung Perak menggunakan mesin *dual fuel*;
8. Analisis ekonomi yang dibahas hanya sebatas biaya pembangunan kapal;
9. *Dual Fuel system* menggunakan bahan bakar *Liquified Natural Gas* (LNG) dan *marine diesel oil* (MDO).

#### **I.5. Manfaat**

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan dunia pendidikan di Indonesia.
2. Memberikan konsep desain *Dual Fuel LNG Carrier* sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG pada kapal yang berkunjung ke Alur Pelayaran Barat Surabaya.
3. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang pengaplikasian ilmu yang diperoleh dalam mendesain sebuah kapal.

#### **I.6. Hipotesis**

Desain *Dual Fuel LNG Carrier* ini dapat diimplementasikan sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya, sehingga dengan adanya *LNG Carrier* dapat mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal untuk proses pengisian bahan bakar LNG.

## **BAB II**

### **STUDI LITERATUR**

#### **II.1. Dasar Teori**

Pada bab II ini berisikan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka dari topik utama dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Dasar teori berisi uraian singkat tentang landasan teori yang mempunyai keterkaitan langsung dan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam Tugas Akhir ini.

##### **II.1.1. Kapal Pengangkut Gas Alam Cair (*LNG Carrier*)**

*LNG Carrier* didefinisikan sebagai kapal yang didesain khusus untuk mengangkut *Liquefied Natural Gas* (LNG). Sebelum dilakukan pembahasan secara khusus mengenai kapal khusus pengangkut *Liquefied Natural Gas* (LNG), *Liquefied Gas* sendiri didefinisikan secara general sebagai produk yang memiliki tekanan uap melebihi 275 kPa (40 psi) absolut pada temperatur 37,8<sup>0</sup>C atau sesuai dengan *Reid vapor pressure* pada 275 kPa (40 psi). Kapal yang mengangkut muatan seperti yang tercantum dalam deskripsi tersebut diatur secara khusus oleh IMO, sehingga kapal seperti LNG (*Liquefied Natural Gas*) dan LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) termasuk dalam kategori ini.

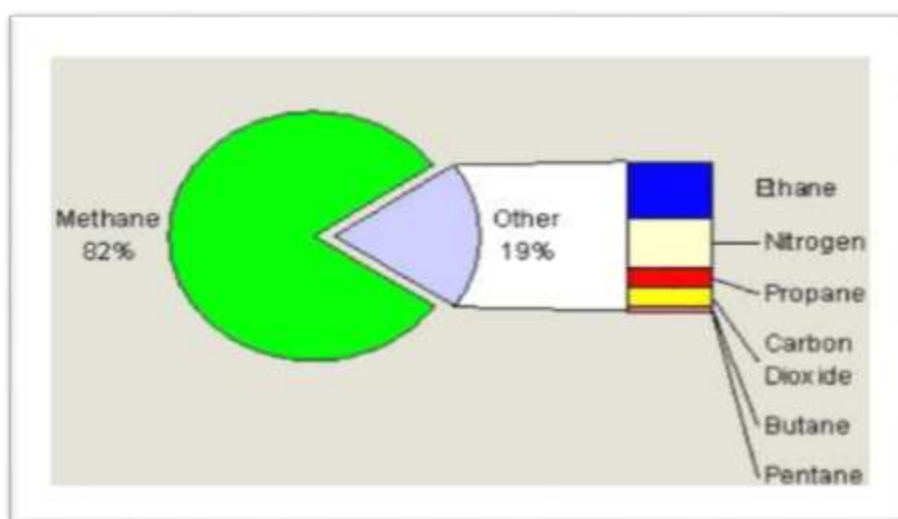


Gambar II.1 *LNG Carrier*

Sumber: American Bureau of Shipping, 2014

### II.1.2. LNG (Liquefied Natural Gas)

LNG (*Liquefied Natural Gas*) adalah Gas Alam (Metana- $CH_4$ ) yang didinginkan sampai suhu minus 160 derajat Celcius pada tekanan atmosfer yang membuatnya menjadi zat cair dan volumenya menjadi 1/600 dari kondisi semula sebagai gas. Kondisi cair ini memungkinkan pengangkutan LNG dilakukan dalam jumlah besar dengan kapal Tanker LNG. Sebelum gas alam dicairkan, terlebih dahulu partikel-partikel asing dibersihkan dan diproses antara lain melalui *desulfurization*, *dehydration* dan pembersihan karbon dioksida. Semua proses ini membuat gas menjadi tidak berwarna, transparan, tidak berbau, tidak beracun serta terhindar dari sulfur oksida dan abu. LNG adalah energi yang bersih (1 KWH energi mengandung 446 gram  $CO_2$ ) juga karena kandungan nitrogen oksida yang kurang (20%-37%) serta karbon dioksida (57%) dibandingkan dengan batu bara. Apalagi LNG bersentuhan dengan udara, akan menghasilkan uap putih yang dengan mudah terlihat. Karena uap LNG lebih ringan dari udara, sehingga menguap ke atas. Selain itu karena suhu nyala spontan LNG lebih tinggi dari bensin, sifat ini membuat LNG sebagai energi yang relatif aman karena LNG terutama terdiri dari metana yang mempunyai kalori tinggi (12000 kkal/Kg) dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya seperti batu bara dan minyak bumi. Sebagai cadangan energi gas alam juga lebih melimpah dan lebih tersebar luas di planet bumi ini dibandingkan dengan minyak (Buda Artana, 2005).



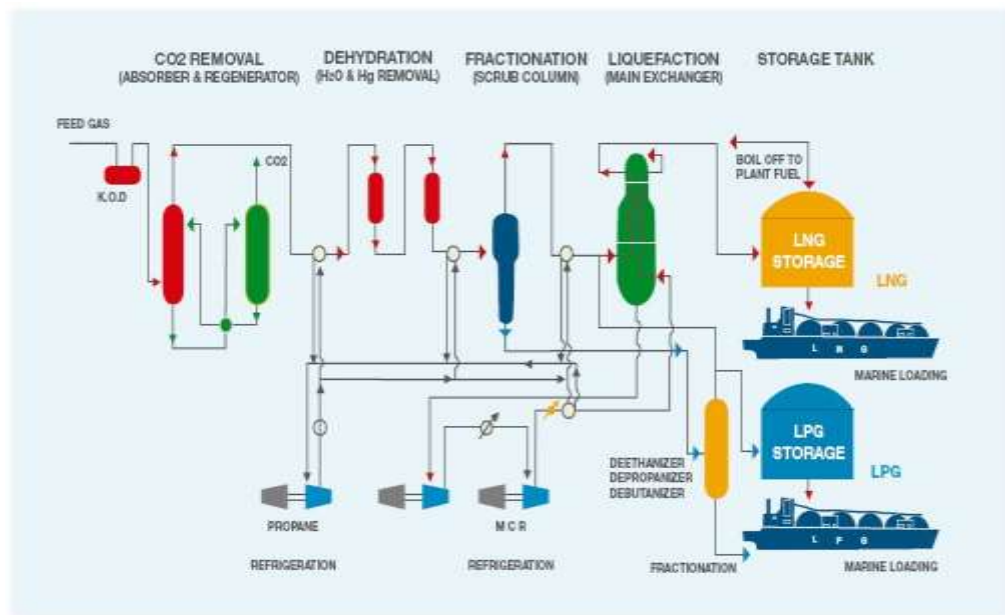
Gambar II.2 Komposisi LNG

Sumber: Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, 2014

### II.1.3. Proses Pencairan Gas Alam

Tujuan utama dari proses pencairan gas alam yaitu untuk mereduksi volume dari gas alam sehingga memudahkan proses penyimpanan, juga pendistribusian ke konsumen. Proses pencairan gas alam melalui penurunan temperatur gas alam hingga mencapai  $-160^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan atmosfer sehingga berubah wujud menjadi cair. Proses ini dilakukan melalui dua siklus, yaitu siklus propana dan siklus sistem *Multicomponent Refrigeration System (MCR)*.

Pada siklus propana, temperatur gas alam diturunkan melalui media pendingin berupa propana yang kemudian dilanjutkan di dalam *Main Heat Exchanger (MHE)* pada siklus sistem *MCR*. *MHE* merupakan suatu *heat exchanger* yang terdiri atas dua bagian, yaitu *warm bundle* pada bagian bawah dan *cold bundle* pada bagian atas. *Feed gas* yang masuk ke dalam *MHE* akan terlebih dahulu didinginkan pada bagian *warm bundle*, dari temperatur awal  $-36^{\circ}\text{C}$  menjadi temperatur  $-120^{\circ}\text{C}$  dan dihasilkan tekanan sebesar 38 kg/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya gas alam didinginkan pada bagian *cold bundle* sehingga berubah menjadi gas alam cair dengan temperatur kurang lebih sebesar  $-160^{\circ}\text{C}$ . Gas alam cair inilah yang dikenal dengan *LNG*.



Gambar II.3 Proses Pemuatan *LNG*

Sumber: Buda Artana, 2005

Gambar II.3 merupakan gambar proses gas alam mulai dari proses pencairan hingga pemuatan di kapal.

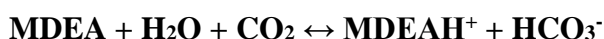
Proses pencairan gas alam pada umumnya dilakukan dengan menggunakan suatu unit rangkaian proses dan peralatan kilang yang dikenal dengan istilah *train*. Pada dasarnya

semua *train* memiliki peralatan, konstruksi, dan menerapkan proses yang sama, hanya saja dari beberapa *train* memiliki kapasitas yang berbeda. *Train* beroperasi secara terus menerus selama 24 jam sehari dan 7 hari dalam seminggu. Masing-masing *train* terdapat lima proses yang berbeda dan terbagi ke dalam lima buah *plant*, yaitu:

#### 1. *Plant 1: CO<sub>2</sub> Removal Unit*

*Feed gas* yang masuk ke dalam proses memiliki komposisi dengan kandungan gas CO<sub>2</sub> yang cukup tinggi yaitu lebih dari 5,6% dengan titik beku -78<sup>0</sup>C. Selain gas CO<sub>2</sub>, *feed gas* juga memiliki kandungan molekul hidrokarbon, dimana CH<sub>4</sub> sebagai komponen utama LNG memiliki titik beku -160<sup>0</sup>C. Kandungan gas CO<sub>2</sub> yang tidak sedikit tersebut dapat mengganggu keberlangsungan proses pencairan gas alam. Hal ini dikarenakan titik beku gas CO<sub>2</sub> lebih tinggi dibanding titik beku CH<sub>4</sub>, sehingga gas CO<sub>2</sub> akan membeku terlebih dahulu pada saat proses pencairan yang kemudian dapat mengakibatkan penyumbatan pada saluran di dalam peralatan kilang dan mengganggu jalannya proses. Oleh karena itu, kandungan gas CO<sub>2</sub> dalam *feed gas* harus dihilangkan melalui proses CO<sub>2</sub> removal di CO<sub>2</sub> absorption unit pada *plant 1*.

Pemisahan CO<sub>2</sub> dilakukan dengan menggunakan bahan *absorbent* larutan *activated methyl di-ethanol amine* atau aMDEA. Reaksi yang terjadi antara aMDEA dan CO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut:



Reaksi ini terjadi di 1C-2 dan merupakan reaksi kontak langsung. *Top product* dari kolom 1C-2 adalah *feed gas* dengan CO<sub>2</sub> kurang dari 50 ppm yang selanjutnya didinginkan melalui dua *stage*, yaitu *stage* pertama menggunakan *cooling water* di 1E-2 yang kemudian dialirkan ke *separator* 1C-3 untuk dipisahkan fase gas hidrokarbon dari fase cair aMDEA. Gas akan keluar melalui bagian atas 1C-3 dan dialirkan ke 4E-10. Untuk *stage* kedua, pendinginan menggunakan *propane* cair pada bagian *shell*, dan gas dilewatkan pada bagian *tube*, dan selanjutnya gas masuk ke *plant 2*. *Bottom product* dari 1C-2 berupa larutan jenuh aMDEA oleh CO<sub>2</sub> dapat diregenerasi di kolom 1C-5.

#### 2. *Plant 2: Dehydration and Mercury Removal Unit*

Setelah melalui *plant 1*, proses selanjutnya yaitu penghilangan uap air dan penurunan kadar merkuri (Hg) di *plant 2*. Uap air perlu dihilangkan sebab sifatnya yang mudah membeku pada proses pendinginan gas alam sehingga dapat mengakibatkan penyumbatan pada tube di dalam *heat exchanger*. Sedangkan tujuan dari penurunan kadar merkuri yaitu akibat sifat reaktif merkuri terhadap material aluminium pada *tube* sehingga



membentuk amalgam yang bersifat korosif dan dapat merusak tube tersebut. *Feed gas* sebagai *output* dari *plant 2* dikontrol dengan spesifikasi konsentrasi  $H_2O$  kurang dari 0,5 ppm dan Hg kurang dari 0,1 ppm.

### 3. *Plant 3: Fractination Unit*

Pada *plant 3* terjadi proses pemisahan antara fraksi ringan dan fraksi berat pada gas alam yang dilakukan menggunakan proses distilasi melalui *Scrub Column* berseri. Selain itu terjadi pula proses pemisahan fraksi berat lebih lanjut menjadi *Ethane*, *Propane*, dan *Butane* pada kolom-kolom fraksinasi. Fraksi ringan yang sebagian besar terdiri dari *Methane* akan menjadi umpan bagi *Main Heat Exchanger 5E-1*. *Propane* dan *Butane* diambil sebagai LPG (Produk samping) atau sebagai *Make Up Refrigerant MCR*, sedangkan *ethane* sebagian diinjeksikan ke *feed gas* yang menuju *Main Heat Exchanger* untuk menaikkan nilai kalor HHV (*Higher Heating Value*) dari LNG dan sebagian disimpan ditangki *refrigerant* sebagai *make up MCR*. Hidrokarbon berat akan dikirim ke *plant 16* sebagai kondensat.

### 4. *Plant 4: Refrigeration Unit*

Proses utama yang terjadi di *plant 4* yaitu proses refrigeration, dimana *feed gas* yang masuk ke dalam proses diatur sirkulasinya menggunakan komponen utama *plant 4*, yaitu compressor, heat exchanger, dan separator, agar dapat menyediakan refrigerant untuk proses selanjutnya di *plant 5*.

### 5. *Plant 5: Liquefaction Unit*

Di *plant 5* dilakukan proses pendinginan dan pencairan *feed gas* setelah *feed gas* mengalami pemurnian dari  $CO_2$ , pengeringan dari kandungan  $H_2O$ , pemisahan Hg, serta pemisahan dari fraksi beratnya dan pendinginan bertahap oleh *propane*. Pencairan *feed gas* terjadi di *Main Heat Exchanger (MHE)*. *Feed gas* yang berasal dari bagian atas *Scrub Column Condensate Drum* dengan temperatur sekitar  $36^{\circ}C$  masuk melalui bagian bawah MHE bersama kelebihan produksi etana, propana, dan butana dari unit fraksinasi untuk menjaga nilai HHV LNG.

MHE merupakan suatu kolom penukar panas tegak yang terdiri dari 2 bagian, yaitu *warm bundle* di bagian bawah dan *cold bundle* di bagian puncak. Pada *cold bundle*, juga dimasukkan MCR gas (mayoritas didominasi oleh  $N_2$  dan  $C1$ ), dan MCR cair (mayoritas didominasi oleh  $C2$  dan  $C3$ ) dalam *tube* yang berbeda sebagai media pendingin *feed gas*. Pada bagian ini terjadi penurunan tekanan MCR uap oleh JT (Joule Thomson) *valve*. MCR ditampung pada *low pressure separator* dan didistribusikan di bagian *shell cold bundle* untuk mendinginkan MCR uap dan *feed gas* dalam *tube*.

#### II.1.4. Jenis Tangki Muatan LNG Carrier

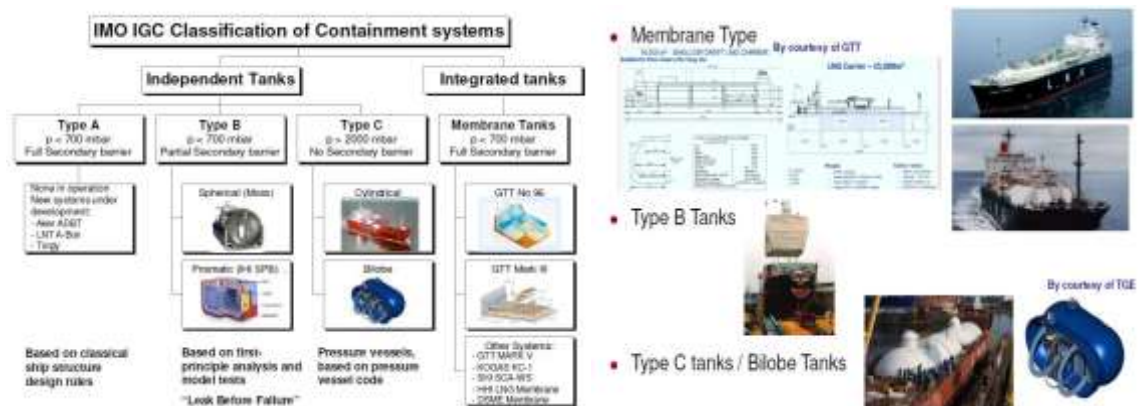
Secara umum, berdasarkan IGC Code, maka sistem/tipe tangki muatan kapal-kapal LNG dapat diklasifikasikan menjadi dua :

##### 1. *Membran tank (non-seft supporting tank)*

Dilihat dari segi strukturnya maka tangki muatan merupakan bagian integral dari struktur kapal. Karena itu tipe ini sering dikenal dengan sebutan integrated tank. Bagian dalam dari tangki muatan dibuat dari material tipis dengan kemungkinan resapan dan bocor yang sangat kecil diikuti dengan material isolasi yang melekat dengan struktur badan kapal. Kapasitas tekanan uap dari tangki muatan tipe ini sekitar 0,27 bar. Bentuk geometris dari tangki tipe membran ini menyesuaikan dengan bentuk bagian dalam dari badan kapal.

##### 2. *Independent tank (self supporting tank)*

Dilihat dari segi strukturnya, tangki muatan tipe ini tidak memiliki struktur yang menjadi satu dengan struktur badan kapal. Tipe ini dapat dikelompokkan menjadi tiga, yakni Tipe-A, Tipe-B, Tipe-C, akan tetapi saat ini Tipe-A sudah tidak lagi digunakan. Tipe-B selanjutnya masih dikelompokkan menjadi dua kelompok berdasarkan geometris tangki, yakni *spherical* dan *prismatic tanks*. Tangki tipe ini didesain untuk memiliki tekanan uap hingga 0,7 bar. Dalam proses pengerjaannya, tangki tipe ini difabrikasi secara terpisah dan paralel dengan pengerjaan kapalanya. Jika tangki telah selesai difabrikasi, maka tangki tersebut diletakkan di dalam badan kapal. Secara teori, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pembangunan kapal LNG dengan tipe tangki seperti ini akan lebih pendek dibandingkan dengan tipe membran pada ukuran yang sama. (Buda Artana, K. 2005)



Gambar II.4 Tipe Tangki LNG Carrier

Sumber: American Bareau of Shiping, 2014

Berdasarkan *The International Code Of Safety For Ships Using Gases or Other Low-Flashpoints Fuels (IGF Code)* (Resolution MSC.370(93)) kategori tangki penyimpanan gas di bagi menjadi :

- ‘Tipe A’, yang dirancang terutama menggunakan metode standar tradisional untuk menganalisa struktur kapal. Biasanya *LPG* atau yang tekanannya mendekati atmosfer atau *LNG* pun dapat disimpan dalam tangki tersebut.
- ‘Tipe B’, yang dirancang dengan menggunakan alat dan metode analisis yang lebih canggih dalam menentukan tingkat *stress*, umur kelelahan dan penjaralan karakteristik retak. Konsep desain keseluruhan dari tangki ini didasarkan pada yang disebut ‘deteksi retak sebelum prinsip kegagalan’ yang memungkinkan mereka gunakan dengan penghalang sekunder berkurang .Muatan *LNG* biasanya dibawa dalam tangki tersebut.
- ‘Tipe C ‘, yang dirancang sebagai bejana tekan, didesain yang dominan berkriteria menjadi tekanan uap. Biasanya digunakan untuk *LPG*, *LNG* dan terkadang digunakan untuk etilen.

Tabel II.1 Perbandingan Jenis Tangki Tipe A, B dan C

Tank type	Description	Pressure	Pros	Cons
A	Prismatic tank, adjustable to hull shape; full secondary barrier	<0.7 bar g	Space-efficient	Boil-off gas handling. More complex fuel system required  High costs
B	Prismatic tank, adjustable to hull shape; partial secondary barrier	<0.7 bar g	Space-efficient	Boil-off gas handling. More complex fuel system required  High costs
	Spherical tank; partial secondary barrier		Reliably proven in LNG carriers	Boil-off gas handling. More complex fuel system required
C	Pressure vessel, cylindrical with dished ends	>2 bar g	Allows pressure increase Simple fuel system Little maintenance Easy installation Lower costs	On board space requirements

Sumber: Wartsila, 2016

### II.1.5. MARPOL ANNEX VI

Gas buang dari mesin dan boiler kapal dapat menyebabkan polusi udara, yang meliputi nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ), sulphur oxide ( $\text{SO}_x$ ), *particulate matter* (PM), dan *ozone-depleting substances* (ODS). Polusi ini akan menyebabkan asap, hujan asam, dan efek rumah kaca yang meningkatkan pemanasan global. Dengan alasan itu IMO mempertimbangkan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal.

Regulasi Annex VI:

- Menetapkan batas  $\text{NO}_x$  or  $\text{SO}_x$  dan *particulate matter* (PM) dari emisi gas buang kapal.
- Melarang emisi *Ozone-Depleting Substances* (ODS)

Persyaratan pada batas  $\text{NO}_x$  or  $\text{SO}_x$  dan *particulate matter* (PM) dari kapal berlaku lebih ketat di Control Lokasi Emisi (ECA). Untuk kapal  $\geq 400$  GT, sertifikat International Polusi Udara Pencegahan (IAPP) akan dikeluarkan untuk mengkonfirmasi kepatuhan kapal dengan peraturan tersebut. (Reg. 6).

Annex VI membahas topik-topik berikut:

#### 1. Zat perusak ozon (Ozone-depleting substance) ( Reg. 12)

Emisi ODS sangat dilarang. Setiap kapal memiliki sistem isi ulang seperti sistem pendingin dan pemadam kebakaran yang dapat merusak lapisan ozon dimana harus dilengkapi dengan *Ozone-Depleting Substances Record Book*.

#### 2. Emisi $\text{NO}_x$ dari *diesel engine*. ( Reg. 13)

- Sistem pembersihan gas buang diterapkan ke mesin untuk mengurangi emisi  $\text{NO}_x$ .
- Teknologi mesin baru yang bisa mengurangi pembentukan emisi  $\text{NO}_x$ .

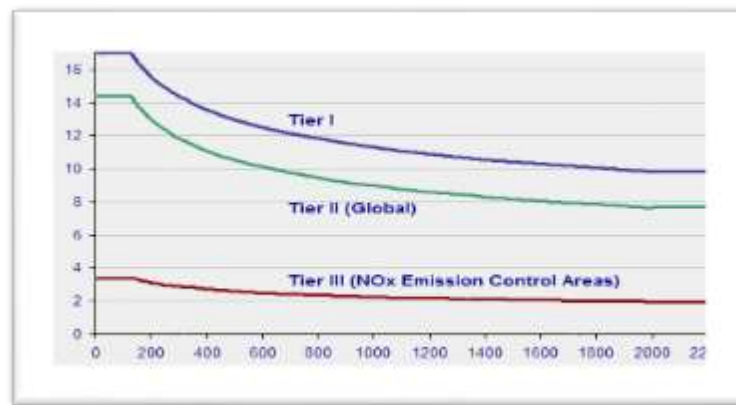
Terdapat tiga tingkatan emisi  $\text{NO}_x$  dari *marine diesel engine*. Tiga tingkatan ini sering disebut dengan Standar Tier I/II/III adalah sebagai berikut:

- Tier I : 1 Januari 2000
- Tier II : 1 Januari 2011
- Tier III : 1 Januari 2016 ( $\text{NO}_x$  ECAs saja).

Tabel II.2 Batas emisi  $\text{NO}_x$  pada Tier I,II dan III

Tier	Date	NO <sub>x</sub> Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016 <sup>†</sup>	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96
<sup>†</sup> In NO <sub>x</sub> Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).				

Sumber: <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

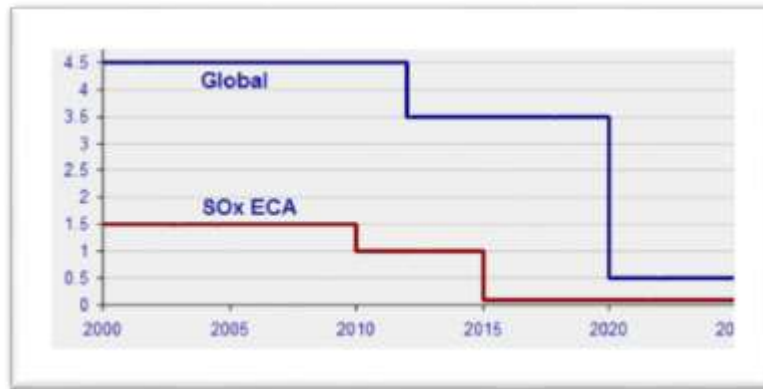


Gambar II.5 Grafik emisi  $\text{NO}_x$  dalam Tier I, II dan III

Sumber: <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

### 3. Emisi $\text{SO}_x$ dan *Particulate Matter* (PM) dari kapal (Reg. 14)

Peraturan ini meliputi sulfur yang terdapat pada bahan bakar minyak yang yang diukur untuk mengontrol emisi  $\text{SO}_x$  dan secara tidak langsung *Particulate Matter* (PM). Untuk saat ini belum ada batas untuk emisi *Particulate Matter* (PM). Emisi  $\text{SO}_x$  dapat dikurangi dengan dengan baik yaitu dengan mengurangi kandungan sulfur dalam bahan bakar atau sistem pengolahan gas buang.



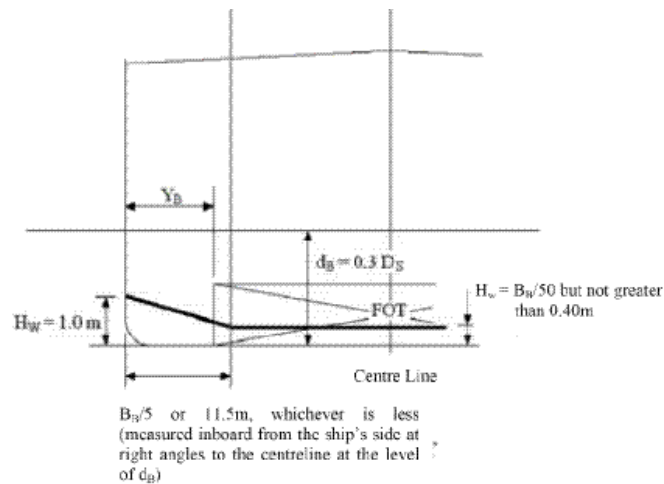
Gambar II.6 Batas emisi sulfur bahan bakar minyak dalam tahun 2000-2025

Sumber: <https://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php>

4. *Volatile Organic Compounds* (VOCs) emissions from cargo oil tanks of oil tanker (Reg. 15). Peraturan ini berlaku untuk kapal tanker tertentu untuk mengendalikan emisi *Volatile Organic Compounds* (VOCs) untuk kargo mereka, yang mana memerlukan *vapour emission control system* (VECS).
5. Shipboard incineration of waste. (Reg. 16) (Kurniawati, 2014).

#### II.1.6. MARPOL ANNEX I

Regulasi yang mengatur tentang masalah polusi yang dihasilkan oleh kapal yaitu MARPOL 73/78 oleh *International Maritime Organization* (IMO). MARPOL 73/78 merupakan regulasi yang bertujuan untuk mencegah atau mengurangi timbulnya polusi yang dihasilkan oleh kapal. Dalam MARPOL 73/78 terdapat ANNEX I yang mengatur tentang pencegahan dari polusi minyak yang dihasilkan oleh kapal baik untuk masalah operasional maupun masalah kecelakaan. Regulasi dalam ANNEX I ini secara umum mengatur tentang peralatan-peralatan dan prosedur pada operasi yang melibatkan minyak di kapal, untuk kapal dengan kapasitas *fuel oil* lebih dari 600 m<sup>3</sup> maka ketinggian tangki dari bottom tidak boleh kurang dari  $h = B/20$  atau 2 m, dan untuk kapal dengan kapasitas tangki dibawah 30 m<sup>3</sup> maka penyusunan tangki bahan bakar pada kapal pada Gambar II.7 di bawah ini.



Gambar II.7 Penyusunan Tangki Bahan Bakar  
Sumber: Marpol Annex I

### II.1.7. Perhitungan Stabilitas

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM. Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ).

Secara umum hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu:

- a. Faktor internal yaitu tata letak barang/cargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan
- b. Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai.

Titik-titik penting stabilitas kapal antara lain adalah:

- a. KM (Tinggi titik metasentris di atas lunas)

KM ialah jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M, atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus  $KM = KB + BM$ .

- b. KB (Tinggi Titik Apung dari Lunas)

Letak titik B di atas lunas bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat atau senget kapal (Wakidjo, 1972). Menurut Rubianto (1996), nilai KB dapat dicari berdasarkan ketentuan:

- Untuk kapal tipe plat *bottom*,  $KB = 0,50d$
- Untuk kapal tipe V *bottom*,  $KB = 0,67d$
- Untuk kapal tipe U *bottom*,  $KB = 0,53d$

c. BM (Jarak Titik Apung ke Metasentris)

Menurut Usman (1981), BM dinamakan jari-jari metasentris atau metacentris radius karena bila kapal mengoleng dengan sudut-sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik pusatnya dan BM sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (100-150). Lebih lanjut dijelaskan Rubianto (1996):

$BM = b^2/10d$ , dimana :  $b$  = lebar kapal (m)

$d$  = *draft* kapal (m)

d. KG (Tinggi Titik Berat dari Lunas)

Nilai KB untuk kapal kosong diperoleh dari percobaan stabilitas (*inclining experiment*), selanjutnya KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai KG dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan *vertical centre of gravity* (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut, selanjutnya jumlah momen-momen seluruh bobot di kapal dibagi dengan jumlah bobot menghasilkan nilai KG pada saat itu.

e. GM (Tinggi Metasentris)

Tinggi metasentris atau *metacentris high* (GM) merupakan jarak tegak antara titik G dan titik M.

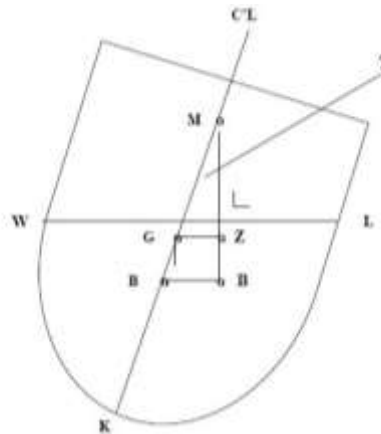
$$GM = KM - KG$$

$$GM = (KB + BM) - KG$$

f. Momen Penegak (*Righting Moment*) dan Lengan Penegak (*Righting Arms*)

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukan tegaknya setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi (Rubianto, 1996). Momen penegak atau lengan penegak Pada waktu kapal miring, maka titik B pindah ke B1, sehingga garis gaya berat bekerja ke bawah melalui G dan gaya keatas melalui B1. Titik M merupakan busur dari gaya-gaya tersebut. Seperti pada Gambar II.7 merupakan sketsa momen penegak atau pengembali.





Gambar II.8 Sketsa Momen Penegak atau Pengembali  
Sumber: Kharismarsono, 2017

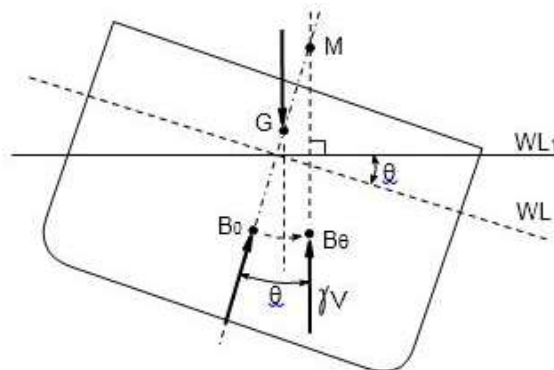
Beberapa hal yang perlu diketahui sebelum melakukan perhitungan stabilitas kapal antara lain adalah

- Berat benaman (isi kotor) atau displasemen adalah jumlah ton air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tenggelam dalam air.
- Berat kapal kosong (*Light Displacement*) yaitu berat kapal kosong termasuk mesin dan alat-alat yang melekat pada kapal.
- Operating load* (OL) yaitu berat dari sarana dan alat-alat untuk mengoperasikan kapal dimana tanpa alat ini kapal tidak dapat berlayar

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu:

- Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)

Suatu keadaan dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu menyenget mesti memiliki kemampuan untuk menegak kembali.



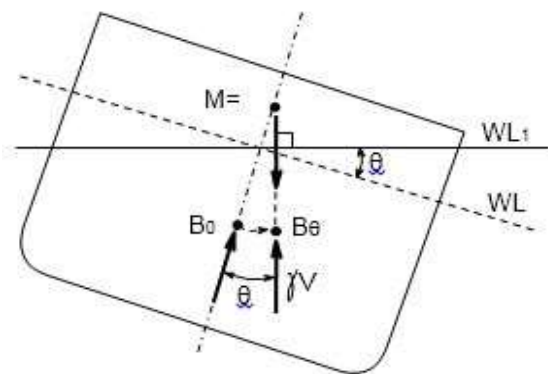
Gambar II.9 Kondisi Stabilitas Positif

Sumber: Kharismarsono, 2017

Pada Gambar II.9 menggambarkan stabilitas positif dimana titik *metacenter* lebih besar kedudukannya daripada titik gravitasi.

b. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu menyenget. Dengan kata lain bila kapal senget tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut senget yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.

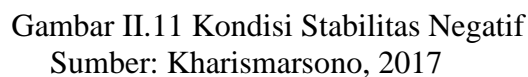


Gambar II.10 Kondisi Stabilitas Netral  
Sumber: Kharismarsono, 2017

Pada Gambar II.10 menggambarkan stabilitas netral dimana titik *metacenter* sama kedudukannya dengan titik gravitasi.

c. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu menyenget tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut sengetnya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan momen penerus atau *healing moment* sehingga kapal akan bertambah miring.



1.  $e_{0.30^\circ} \geq 0.055$  m.rad, luas Gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut  $30^\circ \geq 0.055$  meter rad.
2.  $e_{0.40^\circ} \geq 0.09$  m.rad, luas Gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut  $40^\circ \geq 0.09$  meter rad.
3.  $e_{30,40^\circ} \geq 0.03$  m.rad, luas Gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut  $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03$  meter
4.  $h_{30^\circ} \geq 0.2$  m, lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 meter pada sudut oleng  $30^\circ$  atau lebih.
5.  $h_{\max}$  pada  $\phi_{\max} \geq 25^\circ$ , lengan penegak maksimum harus terletak pada sudut oleng lebih dari  $25^\circ$
6.  $GM_0 \geq 0.15$  m, tinggi metasenter awal  $GM_0$  tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

1. Sudut oleng akibat penumpang bergerombol di satu sisi kapal tidak boleh melebihi  $10^\circ$ .
2. Sudut oleng akibat kapal berbelok tidak boleh melebihi  $10^\circ$  jika dihitung dengan rumus berikut:

19

Dengan

$M_R$  = momen oleng (kN.m)

$V_0$  = kecepatan dinas (m/s)

$L$  = panjang kapal pada bidang air (m)

$\Delta$  = *displacement* (ton)

$d$  = sarat rata-rata (m)

$KG$  = tinggi titik berat di atas bidang dasar (m)

### II.1.8. Perhitungan *Freeboard*

*Freeboard* adalah hasil pengurangan tinggi kapal dengan sarat kapal dimana tinggi kapal termasuk tebal kulit dan lapisan kayu jika ada, sedangkan sarat T diukur pada sarat musim panas.

Besarnya *freeboard* adalah panjang yang diukur sebesar 96% panjang garis air (LWL) pada 85% tinggi kapal *moulded*. Untuk memilih panjang *freeboard*, pilih yang terpanjang antara  $L_{pp}$  dan 96% LWL pada 85%  $H_m$ . Lebar *freeboard* adalah lebar *moulded* kapal pada *midship* ( $B_m$ ). Dan tinggi *freeboard* adalah tinggi yang diukur pada *midship* dari bagian atas *keel* sampai pada bagian atas *freeboard deck beam* pada sisi kapal ditambah dengan tebal pelat *stringer* (senta) bila geladak tanpa penutup kayu.

Adapun langkah untuk menghitung *freeboard* berdasarkan *Non Convention Vessel Standard* sebagai berikut :

- Input Data yang Dibutuhkan

- a. Tipe kapal

Tipe A : adalah kapal yang:

1. didesain hanya untuk mengangkut kargo curah cair; atau
2. memiliki kekokohan tinggi pada geladak terbuka dengan alasan kenyataan bahwa tangki kargo hanya memiliki lubang akses yang kecil, ditutup dengan penutup baja atau bahan lain dengan paking kedap air; dan
3. memiliki permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.

Kapal tipe A: tanker, *LNG carrier*

Kapal tipe B: kapal yang tidak memenuhi persyaratan pada kapal tipe A.

Kapal tipe B: *Grain carrier, ore carrier, general cargo, passenger ships*

- b. *Freeboard standard*

Yaitu *freeboard* yang tertera pada Tabel *standard freeboard* sesuai dengan tipe kapal.

### c. Koreksi

- Koreksi untuk kapal yang panjang kurang dari 100 m
- koreksi blok koefisien ( $C_b$ )
- Koreksi tinggi kapal
- Tinggi standard bangunan atas dan koreksi bangunan atas
- Koreksi bangunan atas
- Minimum *Bow height*

### II.1.9. Biaya Pembangunan

Menurut (PERTAMINA, 2007) pada dasarnya biaya pembangunan terdiri dari dua jenis biaya yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Biaya langsung merupakan jenis biaya yang secara langsung dikeluarkan untuk pembelian material dan baja, system dan permesinan, biaya pekerja, biaya *launching* dan *testing*, serta biaya inspeksi dan sertifikasi. Sedangkan biaya tidak langsung merupakan biaya yang digunakan untuk membiayai kebutuhan kapal secara tidak langsung seperti biaya desain, biaya asuransi, biaya pengiriman barang, biaya garansi. Terdapat lima tahapan dalam perhitungan estimasi biaya pembangunan berdasarkan tingkat akurasi dan kelengkapan data-data dari setiap *equitment* yang digunakan antara lain: *Conceptual or screening estimate (estimate class 5)*, *study of feasibility estimate (estimate class 4)*, *budgetary or control estimate (estimate class 3)*, *control or bid/tender estimate (estimate class 2)*, dan *check estimate (estimate class 1)* (Haq, 2015).

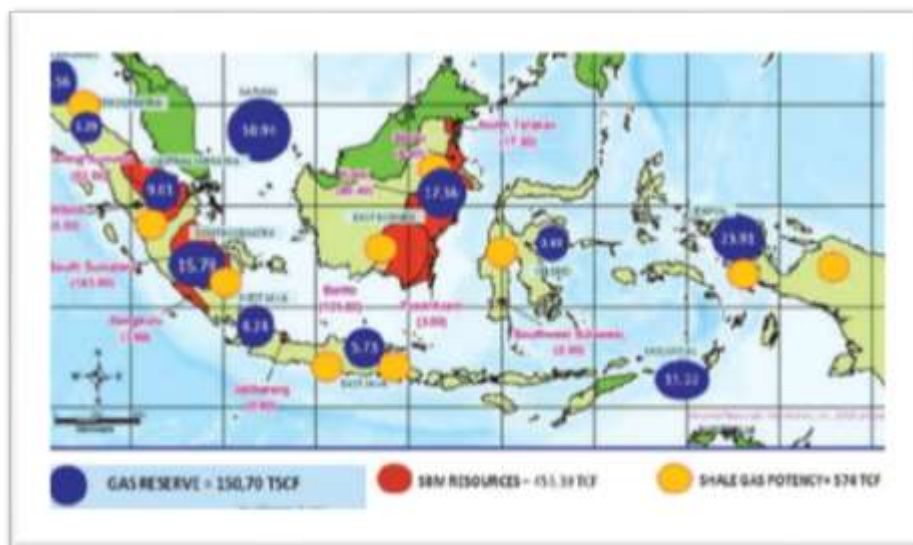
### II.2. Tinjauan Pustaka

Berisi referensi dan/atau hasil penelitian terdahulu yang relevan yang digunakan untuk menguraikan teori, temuan, dan bahan penelitian atau desain lain yang diarahkan untuk menyusun kerangka pemikiran atau konsep yang akan digunakan dalam penelitian atau desain.

#### II.2.1. Potensi Gas Alam Indonesia

Selain minyak bumi Indonesia memiliki cadangan gas alam yang cukup besar, yaitu sebesar 170 TSCF dan produksi per tahun mencapai 2,87 TSCF, dengan komposisi tersebut Indonesia memiliki *reserve to production* (R/P) mencapai 59 tahun. Gas alam juga memiliki harga yang stabil karena jauh dari muatan politis, tidak seperti minyak bumi. Pada tahun 2015 Indonesia memiliki 4 kilang pengolahan LNG, dengan kapasitas terpasang 39 Million Ton Per Annum (MTPA). Kilang LNG berlokasi di Arun (6,8 MTPA), Bontang

Kalimantan Timur (22,6 MTPA), Tangguh di Papua Barat (7,6 MTPA) dan Donggi Senoro Sulawesi Tengah (2 MTPA). Untuk Kilang LNG Arun dikarenakan pasokan gas bumi dari Exxon Mobil telah jauh mengalami penurunan, maka tahun 2014 fungsi sebagai terminal pengirim LNG digantikan menjadi terminal penerima LNG. Untuk kilang LNG Tangguh akan dibangun 1 train LNG plant lagi dengan kapasitas 3,8 MTPA. Sementara itu pemerintah membangun Floating LNG Plant dengan kapasitas 4,5 juta ton per tahun untuk memanfaatkan gas bumi dari Blok Masela. (Kementrian Energi Sumber Daya Mineral, 2014)



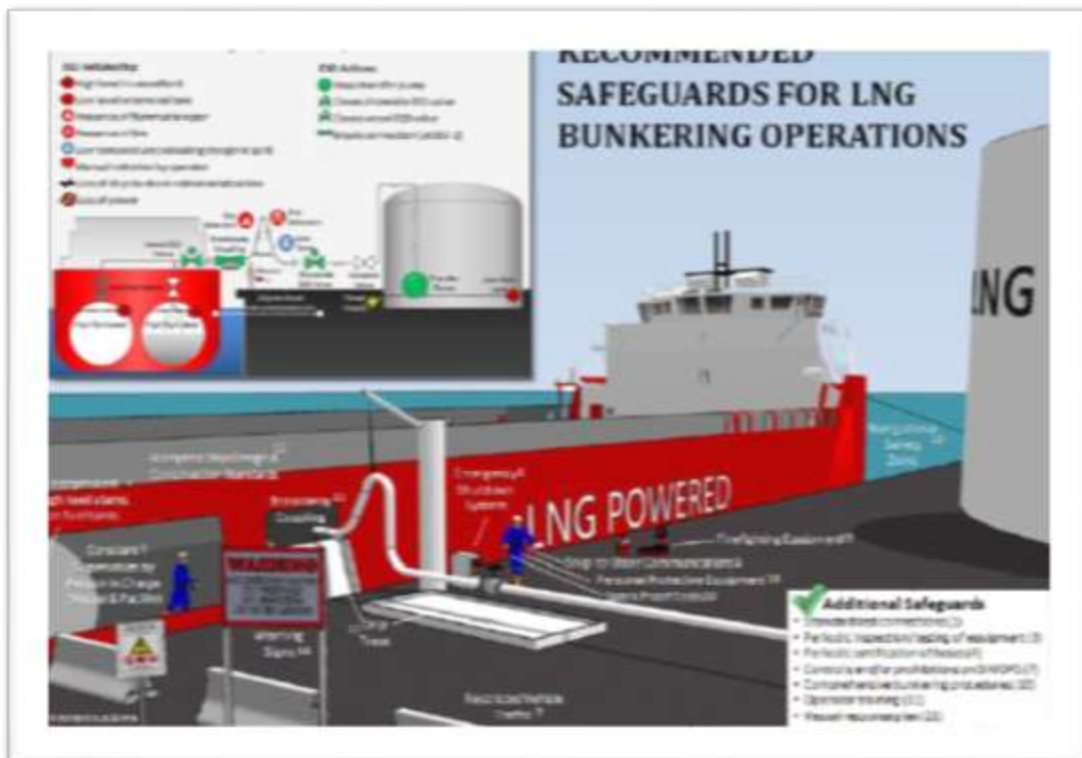
Gambar II.12 Cadangan Gas Bumi Indonesia

Sumber: Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, 2014

## II.2.2. Metode Suplai LNG *Bunkering Onshore to Ship*

Dalam opsi pengisian bahan bakar LNG di Alur pelayaran Barat Surabaya (APBS), dari penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya telah dipilih metode Onshore to Ship, di mana ada dermaga yang khusus disediakan untuk proses pengisian bahan bakar, dermaga ini akan terkait dengan penyimpanan dan transfer LNG yang terletak di darat. Dibutuhkan instalasi pipa untuk menghubungkan penyimpanan LNG di darat dengan kapal di dermaga. Jika ada kapal yang melakukan pengisian bahan bakar, maka instalasi yang ada di darat akan dihubungkan dengan instalasi yang ada di kapal melalui selang fleksibel. Hasil penelitian ini menggunakan pendekatan TOPSIS dipilih terminal Maspion di Gresik sebagai penyimpanan dan pilihan untuk bunkering adalah onshore ke kapal, dimana terdapat empat kriteria penilaian dalam pemilihan lokasi dan opsi bunkering dengan menggunakan pendekatan TOPSIS, kriteria tersebut antara lain : lokasi bunkering,

biaya, teknis dan keselamatan. Dari hasil penelitian Opsi bunkering dipilih dengan *Capital Expenditure* (CAPEX), dan analisis *Operational Expenditure* (OPEX) yang optimal. Dalam penggunaan opsi *bunkering onshore to ship*, ada banyak kelemahan, seperti perlu upaya besar dari kapal yang akan mengisi bahan bakar LNG untuk bersandar ke dermaga yang telah disediakan, ukuran kapal terbatas dapat mengakses ke dermaga, jadi tidak semua ukuran kapal dapat mengakses ke dermaga, kemudian lalu lintas pelayaran menuju pelabuhan tanjung perak yg sangat padat sehingga jumlah kapal yang akan mengisi bahan bakar terbatas, sehingga pilihan *bunkering onshore to ship* kurang efektif dan tidak fleksible untuk dapat melayani banyak kapal di pelabuhan. (Saputro, 2015)



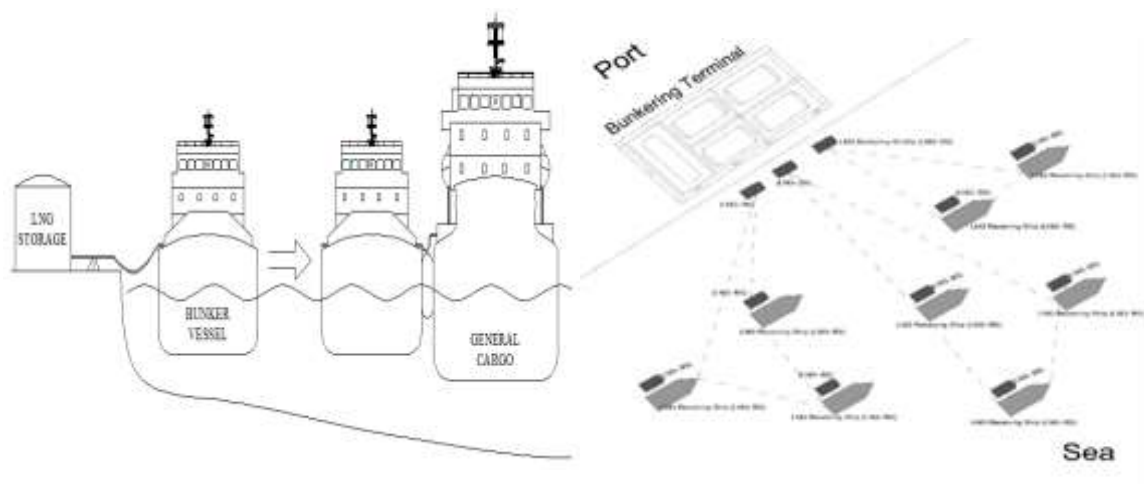
Gambar II.13 Suplai LNG *Bunkering Onshore to Ship*

Sumber: American Bareau of Shiping, 2014

### II.2.3. Metode Suplai LNG *Bunkering Ship to Ship*

Metode suplai bahan bakar LNG Ship to ship digunakan untuk suplai LNG ke kapal yang membutuhkan bahan bakar LNG dengan menggunakan Kapal LNG Carrier atau sering disebut juga dengan bunkering suttle dimana kapal ini dapat mengakomodasi operator kapal dengan atau tanpa berlabuh di daerah pelabuhan. Dengan menggunakan kapal ini dapat mengurangi waktu antrian operator kapal. Sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG, kapal LNG Carrier ini dapat mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal untuk proses pengisian bahan bakar. Pengisiin bahan bakar LNG dengan ship to ship

dapat dilakukan sepanjang pelabuhan saat kapal itu bersandar. Selain itu, opsi pengisian bahan bakar dari kapal ke kapal juga dapat dilakukan saat di laut. Kapal LNG Carrier ini akan melakukan pengisian bahan bakar untuk kapal yang memerlukan bahan bakar LNG. Kapal penerima bahan bakar LNG dapat lego jangkar dimanapun dalam area alur pelayaran barat Surabaya (APBS) dan hanya menghubungi penyedia layanan LNG, dan memberi informasi dimana lokasi kapal, maka kapal LNG Carrier ini akan mencari posisi kapal yang akan menerima LNG lalu melakukan pengisian bahan bakar LNG ship to ship. Berdasarkan studi yang dilakukan, pengelompokan menurut jenis kapal, ukuran kapal dan rute kapal, dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi ARENA versi 14.00 tahun 2012, konsumsi bahan bakar meningkat di Alur Pelayaran Barat Surabaya akan dipengaruhi oleh jenis kapal, ukuran kapal, rute kapal yang akan dituju, dan meningkatnya jumlah kapal mengunjungi setiap tahun. Menurut simulasi dari penelitian ini jumlah yang diperlukan LNG adalah  $1.445 \text{ m}^3$  (Agastana, 2016)



Gambar II.14 Skema Suplai Bahan Bakar LNG

Sumber: Agastana, 2016

#### II.2.4. Sistem Permesinan *Dual Fuel*

Mesin dual fuel beroperasi menggunakan *Liquefied Natural Gas (LNG)* dan *marine diesel oil (MDO)* secara bersamaan. Pada proses pembakaran, sebagian besar bahan bakar yang terbakar adalah gas alam dan bahan bakar solar memiliki fungsi sebagai pilot atau pemantik saat dimulainya proses pembakaran.

Penggunaan bahan bakar solar dapat mempertahankan rasio kompresi dan efisiensinya. Sedangkan gas alam di sini berkontribusi untuk meneruskan pembakaran yang terjadi secara terus menerus sehingga menghemat konsumsi bahan bakar minyak dan



mengurangi emisi hasil gas buang. Di mesin *dual fuel* ini cara bekerjanya ketika berjalan di gas, mesin *dual fuel* bertindak sesuai dengan prinsip Otto, saat gas dicampur dengan udara sebelum mulai kompresi, tekanan gas sekitar 5 bar. Ini tekanan gas dalam kisaran yang sama dengan tekanan gas di instalasi turbin uap. Dekat dengan pusat *topdead* jumlah yang sangat kecil bahan bakar minyak disuntikkan untuk memicu pengapian. Selain berjalan di gas, mesin *dual fuel* dapat berjalan di bahan bakar minyak. Ketika berjalan di bahan bakar minyak, bertindak mesin *dual fuel* sebagai mesin diesel normal. Sistem berbahan bakar ganda ini memiliki hasil pembakaran yang bersih sehingga emisi yang dihasilkan menjadi lebih berkurang. Dengan begitu, penerapan sistem berbahan bakar ganda mampu menghemat pengeluaran konsumsi bahan bakar serta mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin dengan sistem berbahan bakar tunggal. (Ariana, 2013).



Gambar II.15 Mesin *dual fuel* tipe Wartsila 6L50DF

Sumber: Ariana, 2013

### II.3. Tinjauan Wilayah

Alur pelayaran Barat Surabaya yang membentang sepanjang selat sempit antara Pulau Jawa dan Pulau Madura. Kondisi alur yang sempit dengan kedalaman air yang dangkal, serta padatnya lalu lintas kapal yang akan menuju pelabuhan Tanjung Perak. membuat alur ini rawan akan kecelakaan kapal serta tidak dapat dilalui oleh kapal yang berukuran besar. Posisi pelabuhan tanjung perak yang berada di selat madura menyebabkan keterbatasa wilayah perairan pelabuhan yang dimiliki serta kondisi alur pelayaran yang relatif sempit dibandingkan pelabuhan-pelabuhan besar lainnya yang berhadapan dengan laut lepas. Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) diawali dari buoy MPMT yang terletak pada posisi  $06^{\circ}45'00''\text{LS}$  /  $112^{\circ}44'00''\text{BT}$  terus menyusuri selat madura ke selatan sampai pelabuhan Tanjung Perak pada posisi  $07^{\circ}11'54''\text{LS}$  /  $112^{\circ}43'22''\text{BT}$ . Alur

Pelayaran Barat Surabaya merupakan pintu masuk menuju Pelabuhan Tanjung Perak dan sekitarnya. Saat ini, kondisi APBS hanya memiliki lebar 100 meter dengan kedalaman -8,5 mLWS. Serta hanya terdapat satu jalur perlintasan. Kapasitas APBS yang tersedia sebanyak 27.000 gerakan kapal. Padahal, pada tahun 2013 lalu tercatat 43.000 gerakan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak dan sekitarnya. Keterbatasan lain yang dimiliki APBS Tanjung Perak adalah tidak mampu dilewati kapal dengan draft lebih dari 8,5 meter. APBS hanya mampu dilewati kapal curah kering 40.000 DWT, kapal tanker 40.000 DWT, kapal LNG 20.000 DWT, dan kapal petikemas 20.000 DWT.



Gambar II.16 Kondisi Alur Pelayan Barat Surabaya

Sumber: Kementerian Perhubungan, 2016



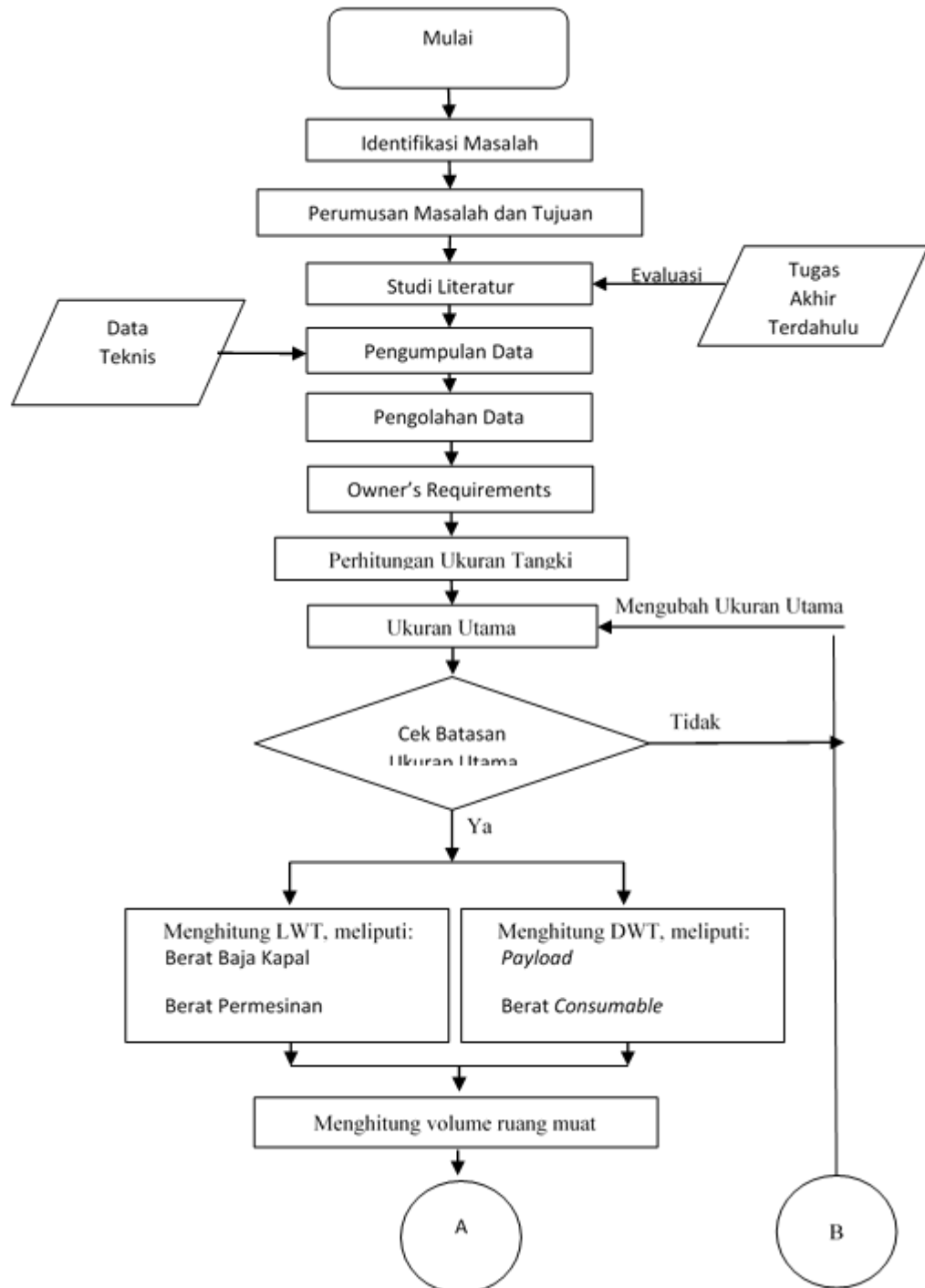
Gambar II.17 Alur Pelayan Barat Surabaya

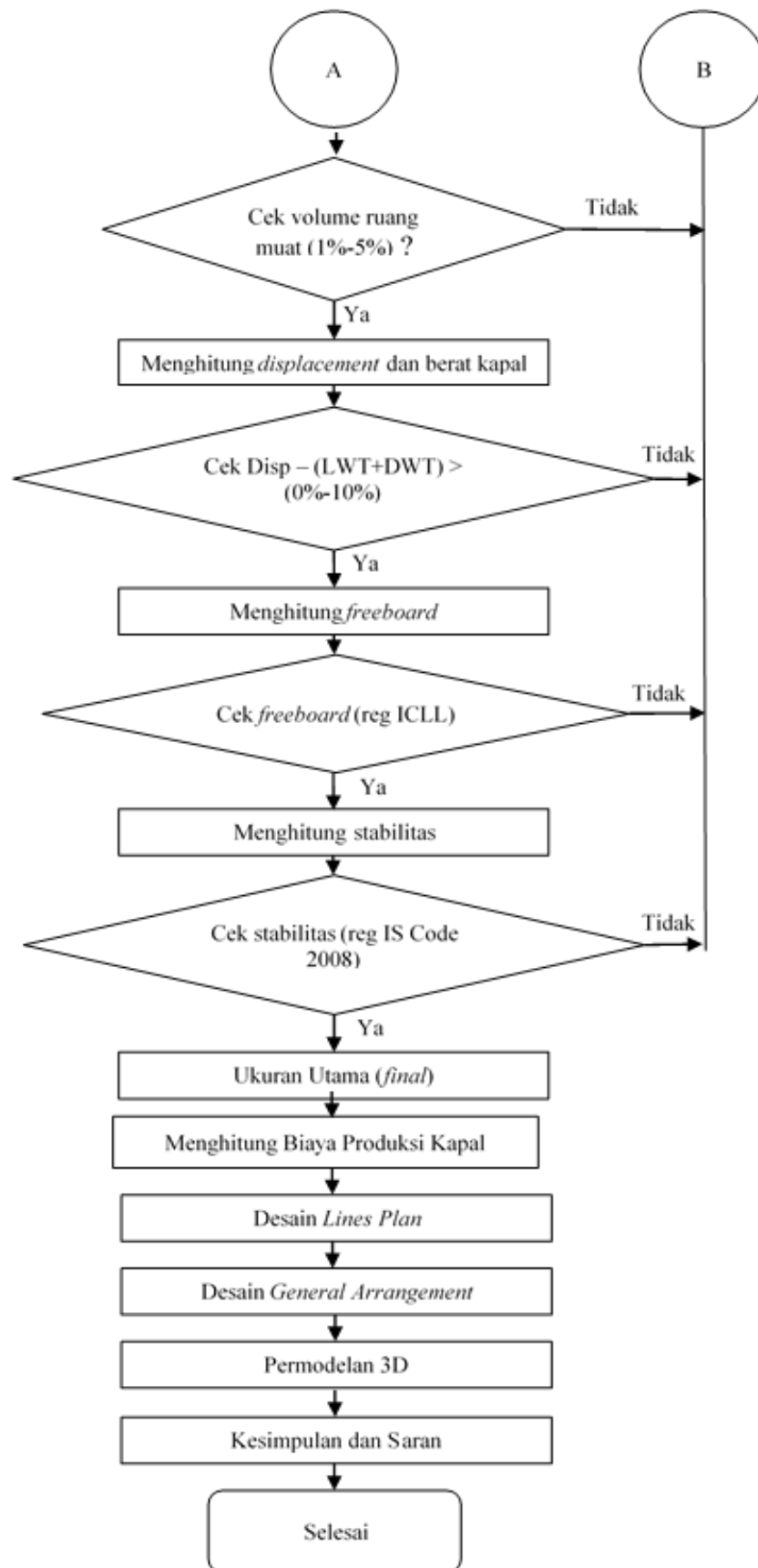
Sumber: <http://www.mappijatim.or.id>

## BAB III METODOLOGI

### III.1. Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir pengerjaan Tugas Akhir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1





Gambar III.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

## III.2. Proses Pengerjaan

### III.2.1. Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap awal ini dilakukan identifikasi permasalahan berupa:

1. Meningkatnya jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) akan berbanding lurus dengan polusi yang akan dihasilkan oleh gas buang dari kapal, dan permintaan bahan bakar kapal LNG.
2. Peraturan MARPOL Annex VI terkait emisi  $\text{NO}_x$  dan  $\text{SO}_x$  dan *particulate matter* (PM), dimana batas emisi yang dihasilkan oleh kapal tidak melebihi 0.50% m/m setelah 1 Januari 2020.
3. Sudah dilakukan Kajian Teknis dan Ekonomis sistem Bunkering LNG *Onshore to Ship* yang memilih tempat terminal Maspion Gresik sebagai tempat Bunkering LNG. Jadi dengan adanya kajian ini dan diikuti oleh peningkatan jumlah kunjungan kapal setiap tahun maka akan dibutuhkan kapal LNG *Carrier* yang digunakan untuk suplai bahan bakar LNG dengan metode *Ship to Ship* untuk mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal dalam proses pengisian bahan bakar di alur pelayaran barat Surabaya.

### III.2.2. Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan pada Tugas Akhir ini. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini, bisa dalam bentuk hasil penelitian sebelumnya agar bisa lebih memahami permasalahan dan pengembangan yang dilakukan. Studi yang dilakukan diantaranya:

- Cara Kerja *LNG* sebagai bahan bakar  
Perlu untuk diketahui bagaimana proses gas alam cair bisa digunakan sebagai bahan bakar pengganti BBM untuk menggerakkan sistem propulsi kapal. Sehingga dapat ditentukan besar kebutuhan dari *LNG* yang akan digunakan pada kapal.
- Metode penyimpanan *LNG* (*LNG Storage*)  
Perlu untuk diketahui bagaimana prosedur dan proses pemuatan muatan *LNG* di dalam ruang muat kapal, sehingga dapat ditentukan volume ruang muat yang efisien.
- Metode Desain kapal  
Ada beberapa metode dalam proses mendesain kapal yang perlu diketahui dan dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pemilihan metode mana yang sesuai.

### III.2.3. Tahap Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam Tugas Akhir ini adalah metode pengumpulan secara tidak langsung (sekunder). Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengambil data terkait dengan permasalahan dalam tugas ini. Adapun data-data yang diperlukan antara lain:

1. Data Jumlah Kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

Data jumlah kapal dan jenis kapal yang berkunjung di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya didapatkan dari kantor Kesyahbandaran Tanjung Perak Surabaya. Data tersebut merupakan data jumlah kunjungan kapal dari tahun 2013-2016 yang meliputi tipe kapal dan tujuan pelayaran. Dari data ini dilakukan klasterisasi berdasarkan tipe kapal yang berkunjung ke Pelabuhan Tanjung Perak, kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan bahan bakar LNG setiap harinya dengan mengasumsikan beberapa tipe kapal menggunakan mesin dual fuel, hasil perhitungan ini nantinya dikonversi menjadi acuan dalam penentuan *payload*.

2. *Dual Fuel* dan Tangki LNG Tipe C

Untuk mesin dan tangki LNG tipe C yang akan digunakan nantinya akan diambil dari katalog mesin website [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com).

3. Data Permesinan *Dual Fuel*

Untuk mesin yang akan digunakan nantinya akan diambil dari katalog mesin dan website [alibaba.com](http://alibaba.com).

### III.2.4. Tahap Pengolahan Data

Dari data-data yang didapatkan, maka proses berikutnya adalah pengolahan data tersebut sebagai input dalam perhitungan selanjutnya. Pengolahan data tersebut dilakukan untuk mengetahui beberapa hal diantaranya:

1. *Payload*
2. Ukuran utama kapal
3. Menghitung kebutuhan *consumable* termasuk LNG sebagai bahan bakar
4. Menghitung *Light Weight Tonnage* dan *Dead Weight Tonnage*
5. Menghitung *displacement*
6. Menghitung *freeboard*
7. Menghitung stabilitas

### **III.2.5. Tahap Perencanaan**

Pada tahapan ini akan dilakukan proses perencanaan (desain) kapal. Perencanaan yang dilakukan terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Desain Rencana Garis

Pembuatan rencana garis dilakukan dengan bantuan *software maxsurf*. Setelah proses desain rencana garis selesai, proses berikutnya adalah menyempurnakan atau menyelesaikan desain rencana garis dengan bantuan *software AutoCad*.

2. Desain Rencana Umum

Dari rencana garis yang telah didesain, dibuatlah rencana umum dari tampak depan, samping, dan belakang. Di dalam rencana umum ini sudah termasuk penataan ruangan, peralatan, perlengkapan, muatan, dan hal lainnya.

3. Permodelan 3D

Dari rencana garis dan rencana umum yang telah diselesaikan, maka dibuatlah permodelan 3D dari desain kapal ini dengan bantuan *software Maxsurf* dan *Autodesk Fusion*.

### **III.2.6. Perhitungan Biaya**

Perhitungan biaya yang dilakukan adalah estimasi biaya pembangunan kapal, estimasi BEP (*Breakeven Point*).

### **III.2.7. Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap ini dirangkum hasil desain yang didapat dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisis dan perhitungan. Kesimpulan berupa ukuran utama kapal dan koreksi terhadap standar yang ada.

Saran dibuat untuk menyempurnakan terhadap beberapa hal yang belum tercakup di dalam proses desain ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB IV**

### **ANALISIS TEKNIS**

#### **IV.1. Umum**

Analisis teknis pada kapal ini meliputi beberapa aspek, antara lain sebagai berikut:

1. Penentuan *payload* dan ukuran utama kapal.
2. Perhitungan dan pemeriksaan kriteria *freeboard*, *Tonnage* yang mengacu pada *International Convention on Tonnage Measurement of Ships* 1969 dari IMO (*International Maritime Organization*).
3. Pemeriksaan kondisi keseimbangan kapal, meliputi pemeriksaan kriteria stabilitas berdasarkan *Intact Stability (IS) Code* IMO dan kriteria trim berdasarkan SOLAS 1974 Reg. II/7.
4. Pembahasan sistem kerja mesin *dual fuel*.

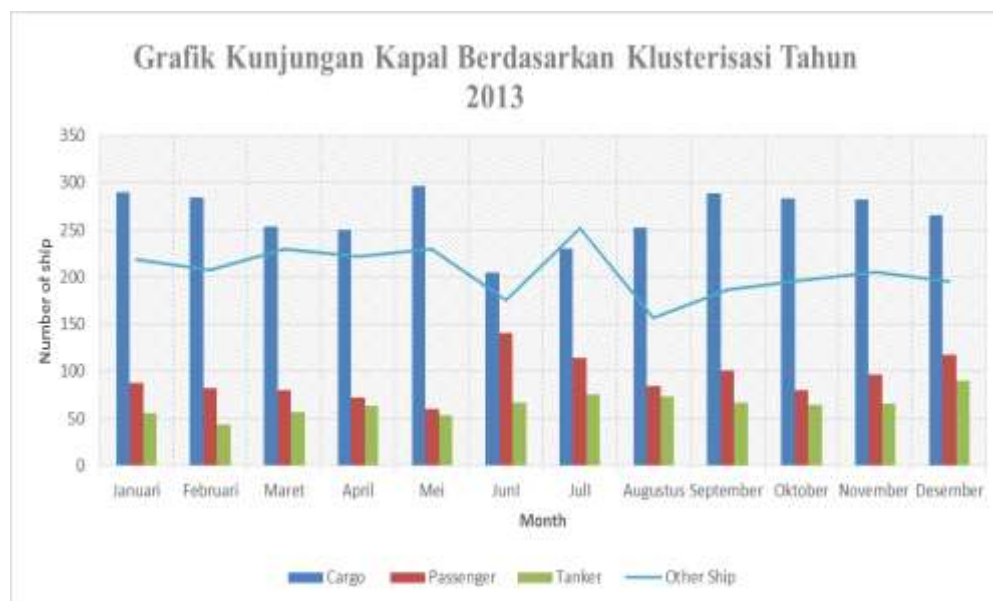
#### **IV.2. Penentuan Payload**

Proses penentuan *payload* didapatkan dari data Kantor Syahbandar Tanjung Perak Surabaya, data yang didapatkan yaitu data kapal yang masuk ke Pelabuhan Tanjung Perak untuk setiap harinya yang meliputi tipe kapal, ukuran utama kapal, serta tujuan pelayaran. Dari data ini selanjutnya dilakukan klusterisasi kapal berdasarkan DWT, lalu dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar LNG yang dibutuhkan di APBS, dengan mengasumsikan kapal-kapal ini menggunakan mesin *dual fuel*. Dari data mesin *dual fuel* ini kita akan mengetahui berapa besar *fuel consumption* dari masing-masing kapal yang diklasifikasi berdasarkan jenis dan ukuran kapal. Penentuan *fuel consumption* LNG juga memperhatikan rute pelayaran dari kapal-kapal yang berkunjung di Alur Pelayaran barat Surabaya, dari data yang diperoleh dipilih 10 rute pelayaran yang paling banyak dilalui kapal yaitu : Makassar, Balikpapan, Tanjung Priuk, Banjarmasin, Samarinda, Semarang, Tanjung Benoa, Kupang, Merak, dan Pelabuhan Lembar. Data kapal yang masuk di Pelabuhan Tanjung Perak yaitu data kapal pada tahun 2013-2016.

Berikut ini adalah data kapal yang sudah di klusterisasi berdasarkan tipe kapal yang masuk di pelabuhan Tanjung Perak pada tahun 2013:

Tabel IV.1 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2013

Ship Clustering with several types in 2013						
No.	Month	Ship Types				Jumlah
		Cargo	Passenger	Tanker	Other Ship	
1	January	290	88	56	219	653
2	February	284	82	43	208	617
3	March	253	80	57	230	620
4	April	250	72	63	222	607
5	Mei	296	60	53	230	639
6	June	205	141	67	176	589
7	July	230	114	75	252	671
8	August	252	84	73	157	566
9	September	289	101	67	187	644
10	October	283	80	64	196	623
11	November	282	96	65	205	648
12	December	266	117	90	195	668
Total Kapal						7545



Gambar IV.1 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2013

Pada Gambar IV.1 dapat dijelaskan bahwa jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan jenis kapal Cargo, Passenger, Tanker dan other ship. Berdasarkan data pada tahun 2013 kunjungan kapal cargo pada tahun ini yaitu berjumlah 3180 kapal, sementara kunjungan tertinggi terjadi pada bulan Mei yang berjumlah 296 kapal. Pada kapal Penumpang jumlah kunjungan ditahun ini sebanyak 1115 kapal dengan kunjungan terbanyak terjadi pada bulan Juni-juli yaitu sebanyak 141 kapal. Sementara

untuk kapal tangker jumlah kunjungan kapal pada tahun ini mencapai 773 kapal dengan jumlah kunjungan tertinggi pada bulan desember dengan jumlah kunjungan 90 kapal. Pada tahun 2013 jumlah semua kunjungan kapal berdasarkan klasterisasi data diatas yaitu berjumlah 7545 kapal.

Berikut ini adalah data kapal yang sudah di klasterisasi berdasarkan tipe kapal yang masuk di pelabuhan Tanjung Perak pada tahun 2014:

Tabel IV.2 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2014

Ship Clustering with several types in 2014						
No.	Month	Ship Types				
		Cargo	Passenger	Tanker	Other Ship	Jumlah
1	January	250	91	50	205	596
2	February	269	71	41	206	587
3	March	351	96	64	212	723
4	April	280	81	62	232	655
5	Mei	276	116	53	201	646
6	June	301	208	59	172	740
7	July	272	143	75	176	666
8	August	238	100	68	163	569
9	September	287	120	69	169	645
10	October	290	98	67	199	654
11	November	301	100	54	201	656
12	December	218	112	93	184	607
Total Kapal						7744



Gambar IV.2 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2014

Pada Gambar IV.2 dapat dijelaskan bahwa jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan jenis kapal Cargo, Passenger , Tanker dan other ship. Berdasarkan data pada tahun 2014 kunjungan kapal cargo pada tahun ini yaitu berjumlah 3333 kapal, sementara kunjungan tertinggi terjadi pada bulan juni yang berjumlah 301 kapal. Pada kapal Penumpang jumlah kunjungan ditahun ini sebanyak 1336 kapal dengan kunjungan terbanyak terjadi pada bulan juni yaitu sebanyak 208 kapal. Sementara untuk kapal tanker jumlah kunjungan kapal pada tahun ini mencapai 755 kapal dengan jumlah kunjungan tertinggi pada bulan desember dengan jumlah kunjungan 93 kapal. Pada tahun 2014 jumlah semua kunjungan kapal berdasarkan klasterisasi data diatas yaitu berjumlah 7744 kapal. Kunjungan kapal ke Alur Pelayaran Barat Surabaya dari tahun 2013-2014 mengalami peningkatan jumlah kunjungan kapal, ini disebabkan karena adanya perbaikan alur yang diperluas dan diperdalam kedalaman alurnya sehingga pada tahun berikutnya kapal dengan ukuran yang lebih besar dapat berkunjung ke pelabuhan Tanjung Perak, sebelumnya hanya kapal dengan sarat dibawah 8 m saja yang dapat masuk ke alur ini untuk kapal besar belum bisa karena keterbatasan kedalaman alur.

Berikut ini adalah data kapal yang sudah di klasterisasi berdasarkan tipe kapal yang masuk di pelabuhan Tanjung Perak pada tahun 2015:

Tabel IV. 3 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2015

Ship Clustering with several types in 2015						
No.	Month	Ship Types				
		Cargo	Passenger	Tanker	Other Ship	Jumlah
1	January	247	88	55	143	533
2	February	241	100	41	151	533
3	march	354	104	59	168	685
4	April	297	97	60	175	629
5	Mei	298	90	49	167	604
6	June	302	164	65	200	731
7	July	217	155	73	185	630
8	August	296	158	70	191	715
9	September	331	109	69	192	701
10	October	347	118	65	179	709
11	November	393	130	49	190	762
12	December	312	96	95	203	706
					Total Kapal	7938



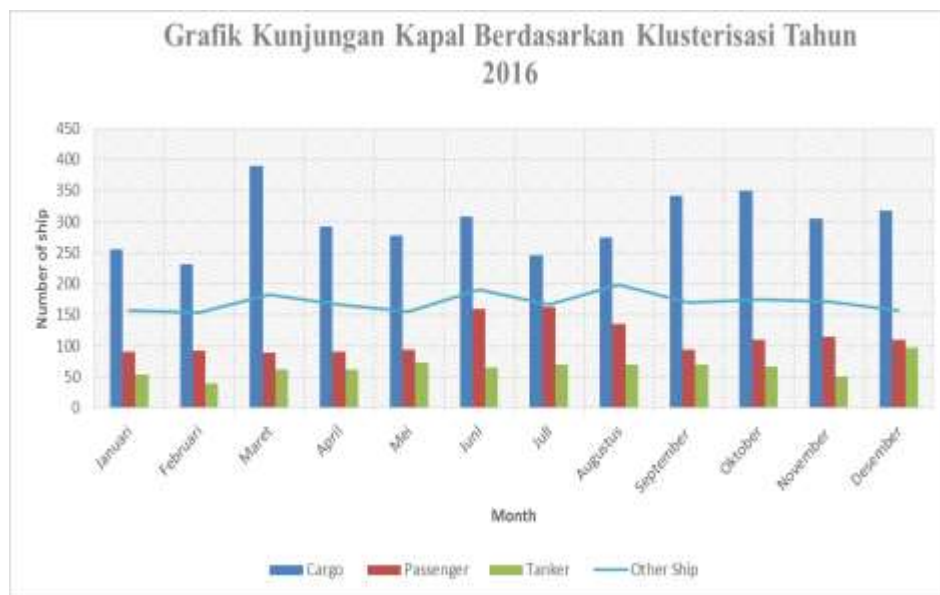
Gambar IV.3 Grafik Klusterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2015

Pada Gambar IV.3 dijelaskan jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan jenis kapal Cargo, Passenger, Tanker dan other ship. Berdasarkan data pada tahun 2015 kunjungan kapal cargo pada tahun ini yaitu berjumlah 3635 kapal, sementara kunjungan tertinggi terjadi pada bulan November yang berjumlah 393 kapal. Pada kapal Penumpang jumlah kunjungan ditahun ini sebanyak 1409 kapal dengan kunjungan terbanyak terjadi pada bulan juni yaitu sebanyak 164 kapal. Sementara untuk kapal tangker jumlah kunjungan kapal pada tahun ini mencapai 750 kapal dengan jumlah kunjungan tertinggi pada bulan desember dengan jumlah kunjungan 95 kapal. Pada tahun 2015 jumlah semua kunjungan kapal berdasarkan klasterisasi data diatas yaitu berjumlah 7938 kapal. Kunjungan kapal pada tahun ini adalah kunjungan kapal paling banyak dari tahun-tahun sebelumnya. Dari data tabel IV.3 dapat dilihat bahwa kunjungan kapal penumpang, kapal Cargo dan kapal Tangker mengalami peningkatan yang sangat signifikan ini disebabkan karena pada tahun ini pelayanan untuk kapal penumpang mulai ditingkatkan, proses pendalaman alur yang sudah mulai dikerjakan sehingga akan berdampak pada jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya. Dari data tahun 2015 ini akan ditentukan klasterisasi kapal berdasarkan jenis dan ukuran kapal, karena pada tahun ini jumlah kunjungan paling banyak dan peningkatan kunjungan kapal sangat signifikan.

Berikut ini adalah data kapal yang sudah di klasterisasi berdasarkan tipe kapal yang masuk di pelabuhan Tanjung Perak pada tahun 2016:

Tabel IV.4 Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2016

Ship Clustering with several types in 2016						
No.	Month	Ship Types				
		Cargo	Passenger	Tanker	Other Ship	Jumlah
1	January	256	90	53	157	556
2	February	232	92	39	154	517
3	march	389	88	61	183	721
4	April	292	90	62	167	611
5	Mei	278	94	72	156	600
6	June	308	160	64	191	723
7	July	246	162	70	166	644
8	August	275	136	70	199	680
9	September	341	94	69	170	674
10	October	349	110	67	174	700
11	November	305	114	51	172	642
12	December	318	110	97	157	682
Total Kapal						7750



Gambar IV.4 Grafik Klasterisasi Kunjungan Kapal Pada Tahun 2016

Pada Gambar IV.4 dijelaskan jumlah kunjungan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan jenis kapal Cargo, Passenger, Tanker dan other ship. Berdasarkan data pada tahun 2016 kunjungan kapal cargo pada tahun ini yaitu berjumlah 3589 kapal, sementara kunjungan tertinggi terjadi pada bulan Maret yang berjumlah 389 kapal. Pada kapal Penumpang jumlah kunjungan ditahun ini sebanyak 1340 kapal dengan kunjungan

terbanyak terjadi pada bulan juli yaitu sebanyak 162 kapal. Sementara untuk kapal tangker jumlah kunjungan kapal pada tahun ini mencapai 775 kapal dengan jumlah kunjungan tertinggi pada bulan desember dengan jumlah kunjungan 97 kapal. Pada tahun 2016 jumlah semua kunjungan kapal berdasarkan klasterisasi data diatas yaitu berjumlah 7750 kapal.

Dari data kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak pada tahun 2013-2016, dari data kunjungan kapal ini dipilih tahun 2015 untuk dilakukan klasterisasi berdasarkan tipe kapal dan DWT kapal, dikarenakan pada tahun ini kunjungan kapal paling banyak dan beberapa tahun yang akan datang berdasarkan informasi dari Kementerian Perhubungan bahwa di Alur Pelayaran Barat Surabaya ini akan ditingkatkan kedalamannya, sehingga akan berdampak menambahnya kunjungan kapal di alur ini. Berikut ini adalah klasterisasi kapal yang diklasterisasi berdasarkan 5 variasi DWT yaitu: pertama dengan ukuran DWT  $900 \geq \text{DWT} \leq 3000$ , kedua  $3000 \geq \text{DWT} \leq 8000$ , ketiga  $8000 \geq \text{DWT} \leq 13000$ , keempat  $13000 \geq \text{DWT} \leq 18000$ , dan yang terakhir  $18000 \geq \text{DWT} \leq 30000$ . Dari klasterisasi ini akan dilihat jumlah kunjungan kapal berdasarkan jenis dan ukuran kapak dalam satu tahun yang nantinya akan digunakan dalam penentuan jumlah konsumsi bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya. Berikut ini adalah hasil klasterisasi berdasarkan DWT:

Tabel IV.5 Klasterisasi Kapal Cargo Berdasarkan DWT

Cargo Ship						
No	Month	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	January	35	139	53	19	1
2	February	38	140	45	13	3
3	March	59	209	58	25	2
4	April	37	178	55	23	4
5	Mei	38	178	52	22	6
6	June	36	174	56	25	10
7	July	29	119	47	14	8
8	August	38	164	61	26	7
9	September	51	174	64	30	11
10	October	58	188	58	33	10
11	November	48	226	74	36	9
12	December	45	184	49	27	7
Total Ship		512	2073	672	293	78
Average per day		2	6	2	1	1
Total Container Ship Per day		12				

Tabel IV.6 Klasterisasi Kapal Penumpang Berdasarkan DWT

Passenger Ship						
No	Month	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	January	0	30	58	0	0
2	February	10	34	56	0	0
3	March	9	32	63	0	0
4	April	4	35	58	0	0
5	Mei	2	36	48	0	0
6	June	3	77	84	0	0
7	July	6	73	76	0	0
8	August	17	78	63	0	0
9	September	16	37	56	0	0
10	October	4	57	56	0	0
11	November	18	48	64	0	0
12	December	8	37	51	0	0
Total Ship		97	574	733	0	0
Average per day		1	2	3	0	0
Total Passenger Ship Per day		6				

Tabel IV.7 Klasterisasi Kapal Tangker Berdasarkan DWT

Tanker Ship						
No	Month	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	January	28	15	5	3	4
2	February	22	11	1	3	4
3	March	25	18	8	1	7
4	April	28	19	5	4	4
5	Mei	18	17	8	3	3
6	June	31	21	8	2	3
7	July	28	27	8	7	3
8	August	33	24	3	4	6
9	September	33	18	1	4	3
10	October	39	20	0	4	2
11	November	38	8	1	1	1
12	December	60	17	16	2	0
Total Ship		383	215	64	38	40
Average per day		2	1	1	1	1
Total Tanker Ship Per day		6				



Dari hasil klasterisasi pada Tabel IV.5- IV.7 didapatkan bahwa jumlah rata-rata kapal cargo yaitu 12 kapal, untuk kapal penumpang sebanyak 6 kapal dan kapal Tangker sebanyak 6 kapal. Dari data ini akan dilakukan perhitungan kebutuhan bahan Bakar LNG yang dibutuhkan setiap harinya untuk kapal-kapal yang berkunjung di Alur Pelayaran Barat Surabaya.

Konsumsi bahan bakar LNG di wilayah APBS dipengaruhi oleh mesin dan rute tujuan kapal, dalam perhitungan ini akan diasumsikan bahwa mesin yang digunakan kapal yang berkunjung ke alur ini menggunakan mesin *Dual Fuel* 6WL34DF. Konsumsi bahan bakar LNG dapat dihitung dengan rumus :

$$FC = Bhp \times FGC \times t$$

Dimana :

Bhp = Power that produced by engine (KW)

FCG = Fuel Gas Consumption (KJ/Kwh)

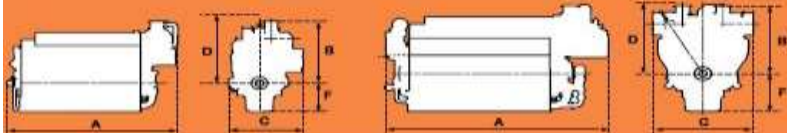
t = time required of ship on sea-going (hours)

Tabel IV.8 Spesifikasi *Engine Wartsila 34 DF*

Wärtsilä 34DF		IMO Tier III, EPA T2/T3	
Cylinder bore	340 mm	Fuel specification: Fuel oil	
Piston stroke	400 mm	700 cSt/50°C	7200 sR1/100°F
Cylinder output	500 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB	
Speed	750 rpm	BSEC 7280 kJ/kWh at ISO cond.	
Mean effective pressure	22.0 bar		
Piston speed	10.0 m/s		

Rated power	
Engine type	kW
6L34DF	3 000
8L34DF	4 000
9L34DF	4 500
12V34DF	6 000
16V34DF	8 000

Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A	B	C	D	F	Weight
6L34DF	5 325	2 550	2 380	2 345	1 155	35
8L34DF	5 960	2 550	2 610	2 345	1 155	44
9L34DF	6 870	2 550	2 610	2 345	1 155	49
12V34DF	6 865	2 435	2 900	2 120	1 210	61
16V34DF	7 905	2 570	3 325	2 120	1 210	77



Sumber: Wartsila, 2016

Tabel IV.8 merupakan spesifikasi *engine wartsila 34 DF* yang akan digunakan untuk menentukan besarnya konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan di Alur Pelayaran Barat Surabaya.

Tabel IV.9 Rute Pelayaran Kapal di APBS

Rute Kapal				
No	Rute	Jarak (nm)	Kecepatan	Waktu Pelayaran
1	APBS - Makassar	520	12 Knot	1,8
2	APBS - Balikpapan	600	12 Knot	2,1
3	APBS - Tanjung Priok	438	12 Knot	1,5
4	APBS - Banjarmasin	328	12 Knot	1,1
5	APBS - Samarinda	615	12 Knot	2,1
6	APBS - Semarang	284	12 Knot	1
7	APBS - Tanjung Benoa	302	12 Knot	1,05
8	APBS - Kupang	760	12 Knot	2,64
9	APBS - Merak	445	12 Knot	1,6
10	APBS - Lembar	310	12 Knot	1,2

Tabel IV.9 diatas adalah rute pelayaran kapal dari Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, dalam penentuan rute ini dipilih sepuluh rute tujuan kapal yang paling banyak diantaranya yaitu tujuan Makasar, Balikpapan, Tanjung Priok, Banjarmasin, Samarinda, Semarang, Tanjung Benoa Bali, Kupang, Merak Banten, dan pelabuhan Lembar.

Tabel IV. 10 Perhitungan LNG *Fuel Consumption*

Perhitungan LNG <i>Fuel Consumption</i> (kj)						
No	Rute Kapal	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	APBS - Makassar	943488000	1257984000	1415232000	1886976000	2515968000
2	APBS - Balikpapan	1100736000	1467648000	1651104000	2201472000	2935296000
3	APBS - Tanjung Priok	786240000	1048320000	1179360000	1572480000	2096640000
4	APBS - Banjarmasin	576576000	768768000	864864000	1153152000	1537536000
5	APBS - Samarinda	1100736000	1467648000	1651104000	2201472000	2935296000
6	APBS - Semarang	524160000	698880000	786240000	1048320000	1397760000
7	APBS - Tanjung Benoa	550368000	733824000	825552000	1100736000	1467648000
8	APBS - Kupang	1383782400	1845043200	2075673600	2767564800	3690086400
9	APBS - Ujung Pandang	838656000	1118208000	1257984000	1677312000	2236416000
10	APBS - Lembar	628992000	838656000	943488000	1257984000	1677312000
Asumsi Engine wartsila W6L34DF						
FGC	7280	KJ/Kwh				
bhp scr	3000	4000	4500	6000	8000	Kw

Dalam penentuan LNG Fuel Consumption ini berdasarkan pada Power that produced by engine (KW), Fuel Gas Consumption (KJ/Kwh), dan waktu pelayaran kapal. Dengan asumsi mesin yang digunakan yaitu Engine Wartsila WL34DF, dari rumus  $FC = Bhp \times FGC \times t$ , maka besarnya LNG Fuel Consumption akan dapat dihitung yang berdasarkan besarnya DWT kapal dan rute pelayarannya. Berikut akan diberikan satu contoh perhitungannya :

Contoh perhitungan LNG Fuel Consumption untuk rute APBS - Makasar:

$$FC = Bhp \times FGC \times t$$

$$FC = 3000 \text{ Kw} \times 7282 \text{ KJ/Kwh} \times 1,8 \times 24 \text{ jam}$$

$$FC = 943488000 \text{ Kj}$$

Tabel IV.11 *Density dan Low Heating Value LNG*

Energy Density				
No	Item Unit	Low Heating Value MJ/Kg	Density Kg/m3	Energy Density
1	MDO	43,56	880	38332,8
2	LNG	48,6	450	21870

Tabel IV.12 *LNG Fuel Consumption di APBS*

LNG Fuel Consumption Berdasarkan Rute Kapal												
No	Route	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)		Ship (3000 ≥ size ≤ 8000 DWT)		Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)		Ship (13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)		Ship (18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)		
		Ton/day	M3/day	Ton/day	M3/day	Ton/day	M3/day	Ton/day	M3/day	Ton/day	M3/day	
1	APBS - Makassar	19,41	43,14	25,88	57,52	29,12	64,71	38,83	86,28	51,77	115,04	
2	APBS - Balikpapan	22,65	50,33	30,20	67,11	33,97	75,50	45,30	100,66	60,40	134,22	
3	APBS - Tanjung Priok	16,18	35,95	21,57	47,93	24,27	53,93	32,36	71,90	43,14	95,87	
4	APBS - Banjarmasin	11,86	26,36	15,82	35,15	17,80	39,55	23,73	52,73	31,64	70,30	
5	APBS - Samarinda	22,65	50,33	30,20	67,11	33,97	75,50	45,30	100,66	60,40	134,22	
6	APBS - Semarang	10,79	23,97	14,38	31,96	16,18	35,95	21,57	47,93	28,76	63,91	
7	APBS - Tanjung Benoa	11,32	25,17	15,10	33,55	16,99	37,75	22,65	50,33	30,20	67,11	
8	APBS - Kupang	28,47	63,27	37,96	84,36	42,71	94,91	56,95	126,55	75,93	168,73	
9	APBS - Ujung Pandang	17,26	38,35	23,01	51,13	25,88	57,52	34,51	76,69	46,02	102,26	
10	APBS - Lembar	12,94	28,76	17,26	38,35	19,41	43,14	25,88	57,52	34,51	76,69	
Total LNG untuk Semua Rute		385,63	m3	514,17	m3	578,45	m3	771,26	m3	1028,35	m3	

Dari Tabel IV.12 hasil perhitungan LNG fuel Consumption ini harus dikonversi dari satuan KJ/hari ke satuan m3/hari, perhitungan ini menggunakan nilai panas rendah LNG (lihat tabel IV.11) dan gunakan Density LNG (0,45 ton/m3) dan Low Heating Value. Berikut ini akan diberikan satu contoh perhitungannya:

$$FC = 943488000 \text{ Kj}$$

$$FC \text{ LNG (m}^3\text{/hari)} = FC(\text{Kj}) / (\text{Low Heating Value} \times \text{Density LNG})$$

$$FC \text{ LNG (m}^3\text{/hari)} = (943488000 \text{ Kj}) / (48,6 \times 1000 \times 450) \\ = 43,14 \text{ m}^3$$

Tabel IV.13 Total LNG Fuel Consumption di APBS

Kebutuhan Bahan Bakar LNG untuk <i>Cargo Ship</i> di APBS (m3)						
No	Time	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	1 Hari	540,94	2920	1065	619	220
Total Konsumsi LNG per hari		5365 m3				
Kebutuhan Bahan Bakar LNG <i>Tanker Ship</i> di APBS (m3)						
No	Time	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	1 Hari	405	303	101	80	113
Total Konsumsi LNG per hari		1002 m3				
Kebutuhan Bahan Bakar LNG <i>Passenger Ship</i> di APBS Area (m3)						
No	Time	Ship ( 900 ≥ size ≤ 3000 DWT)	Ship (3000 ≥ Size ≤ 8000 DWT)	Ship (8000 ≥ size ≤ 13000 DWT)	Ship(13000 ≥ size ≤ 18000 DWT)	Ship(18000 ≥ size ≤ 30000 DWT)
1	1 Hari	102,48	808,59	1161,65	0,00	0,00
Total Konsumsi LNG per hari		2073 m3				
TOTAL LNG Fuel Consumption di APBS				8440 m3		

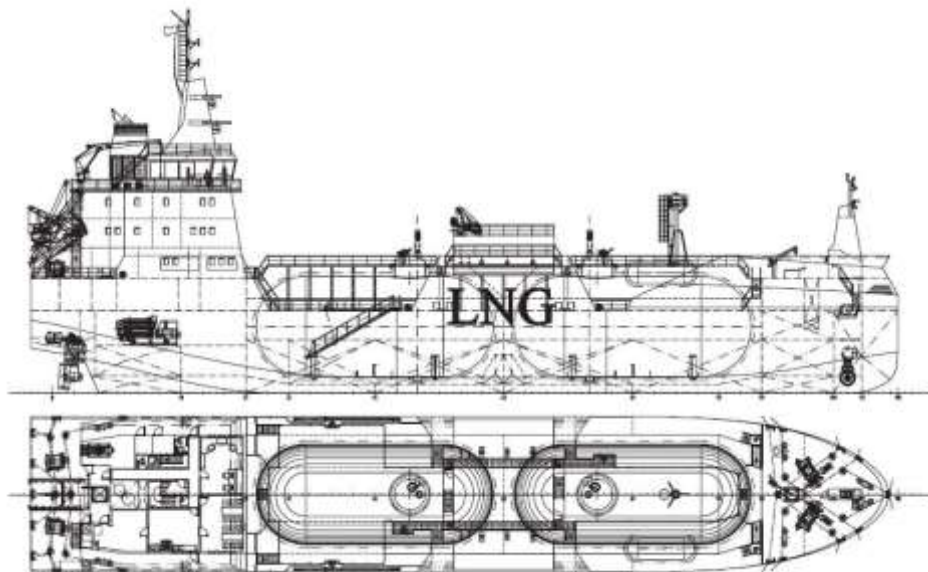
Dari Tabel IV.13 maka dapat dihitung kebutuhan bahan bakar LNG di APBS untuk setiap harinya, dimana besarnya kebutuhan ini dihitung berdasarkan jumlah kunjungan kapal yang sudah diklasifikasi berdasarkan tipe dan ukuran kapal, dari hasil perhitungan di atas maka didapatkan untuk kapal cargo kebutuhan bahan bakar LNG sebesar 5356 m<sup>3</sup>, untuk kapal penumpang sebesar 2073 m<sup>3</sup> dan kapal tangker sebesar 1002 m<sup>3</sup>. Jadi total kebutuhan bahan bakar LNG di APBS yaitu **8440 m<sup>3</sup>**, nilai ini akan digunakan dalam penentuan *payload Dual Fuel LNG Carrier*.

Dalam penentuan *payload* dan desain kapal ini maka akan memperhatikan kondisi alur pelayaran dan kedalaman pelabuhan di daerah APBS, dari data lapangan dan dari Kantor Syahbandar Tanjung Perak Surabaya, kondisi alur ini sangat padat akan pelayaran kapal dari dan menuju Pelabuhan Tanjung Perak, sehingga kapal ini harus didesain dengan memperhatikan ukuran kapal sehingga kapal ini lebih cepat dan *fleksible* dalam proses pengisian bahan bakar LNG. Karena akan menggunakan skenario *shuttle* dalam pengisian

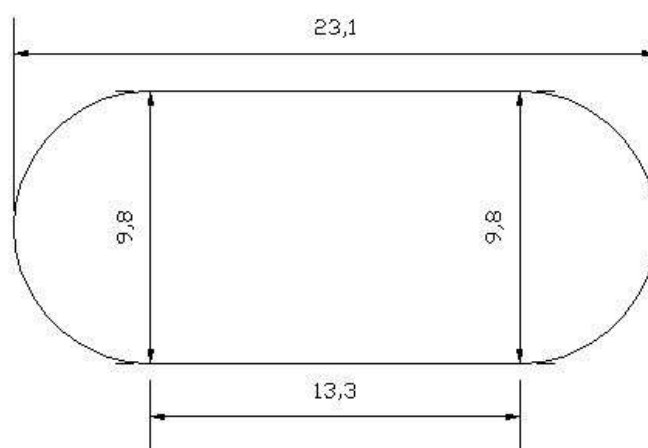
bahan bakar LNG, maka *payload* LNG Carrier sebesar **1500 m<sup>3</sup>**. Akan digunakan 3 kapal, sehingga setiap kapal akan melakukan pengisian di LNG *storage* di darat sebanyak 2 kali.

#### IV.3. Penentuan Ukuran Utama

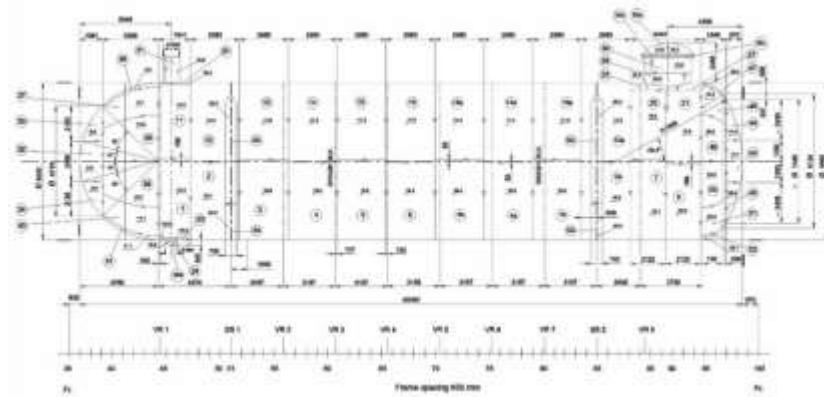
Setelah berat *payload* didapatkan, maka dapat di tentukan ukuran tangki LNG yang akan digunakan. Penulis mengambil ukuran tangki dari desain kapal Wartsila dan sebuah jurnal internasional yang membahas tentang struktur tangki *liquified natural gas* pada kapal.



Gambar IV.5 Desain LNG Carrier Wartsila  
Sumber: Wartsila, 2016



Gambar IV.6 Ukuran Tangki LNG 1500 m<sup>3</sup>  
Sumber: Wartsila, 2016



Gambar IV.7 Struktur Tangki *Bilobe* pada LNG Carrier  
Sumber: Wartsila, 2016

Struktur tangki pada gambar IV.7 merupakan tangki yang digunakan pada Tugas Akhir ini. Dari Gambar IV.6 dapat diketahui jarak gading dari ruang muat kapal tersebut adalah 700 mm. Sehingga dapat diukur panjang tangki No.1 dengan mengalikan jarak gading dengan jumlah gadingnya. Dari struktur tangki ini juga akan ditentukan tebal pelat dan berat tangki yang digunakan.

$$33 \text{ jarak gading} = 33 \times 0.7 \text{ m} = 23.1 \text{ m}$$

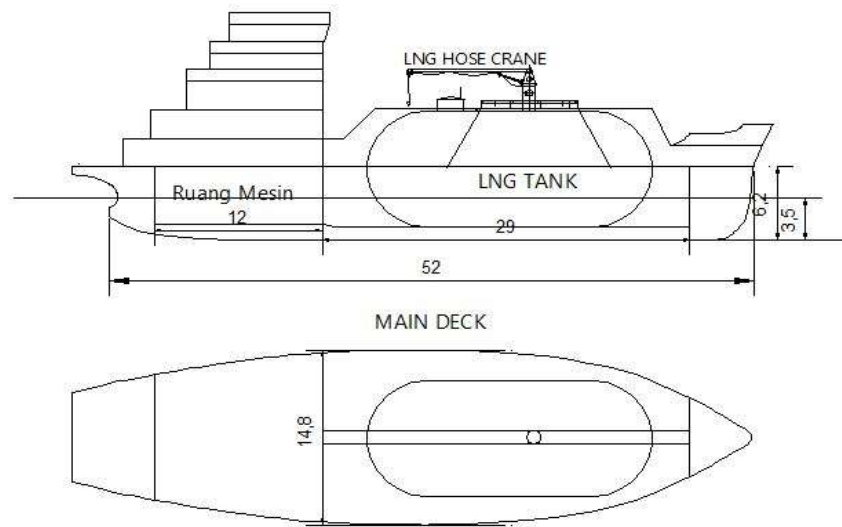
Maka didapatkan ukuran tangki dengan diameter 9800 mm dan panjang 23000 mm sehingga dapat ditentukan *layout* awal dari *Dual Fuel LNG Carrier*. Dalam menentukan *layout* awal kapal ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu:

- Kedalaman di Alur Pelayaran Barat Surabaya yaitu -8,5 m, kedalaman minimum -5 m dan kondisi Alur yang sangat padat dengan lalu lintas kapal, sehingga dalam penentuan panjang kapal harus perlu memperhatikan, sehingga kapal dapat bekerja lebih dalam kondisi alur yang padat.



Gambar IV.8 Data Kondisi Pelabuhan di APBS

Sumber: Kementerian Perhubungan, 2016



Gambar IV.9 Layout Awal dari *Dual Fuel LNG Carrier*

Sehingga didapatkan ukuran utama kapal awal sebagai berikut:

$$LPP = 52 \text{ m}$$

$$LWL = 54,08 \text{ m}$$

$$B = 14,9 \text{ m}$$

$$H = 6,2 \text{ m}$$

$$T = 3,5 \text{ m}$$

Ukuran utama tersebut kemudian disesuaikan dengan batasan-batasan perbandingan ukuran utama sebagai berikut:

$$L/B = 3,514, \quad 3.5 < L/B < 10$$

$$B/T = 4,229, \quad 1.8 < B/T < 5$$

$$L/T = 14,857, \quad 10 < L/T < 30$$

$$L/16 = 3,250, \quad H > L/16$$

Dari pengecekan batasan-batasan perbandingan ukuran utama dapat diketahui bahwa ukuran utama kapal tersebut memenuhi persyaratan batasan karena masih dalam *range* yang sudah ditentukan.

#### IV.4. Perhitungan Teknis

Setelah didapatkan ukuran utama kapal, dan telah disesuaikan dengan batasan rasio ukuran utama kapal selanjutnya dilakukan perhitungan teknis meliputi perhitungan berat baja kapal, perhitungan peralatan dan perlengkapan, perhitungan LWT, perhitungan DWT, Trim, lambung timbul dan stabilitas.

##### IV.4.1. Perhitungan Koefisien

Setelah didapatkan ukuran utama kapal selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien. Koefisien yang akan dihitung antara lain, *block coeffisien*, *midship section coeffisien*, *waterplane coeffisien*, dan *prismatic coeffisien*. Selain itu juga akan dihitung besarnya LCB kapal dan juga displasemen kapal. Berikut merupakan hasil perhitungannya.

- Froude Number Dasar

$$\begin{aligned}Fn &= \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}} \\&= 5,144 / (9,81 \cdot 52)^{0,5} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2 \\&= 0.223 \quad (0,15 \leq Fn \leq 0,3)\end{aligned}$$

- Block Coeffisien (Watson & Gilfillan) :

$$\begin{aligned}Cb &= -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \\&= 0.704\end{aligned}$$

- Midship Section Coeffisien (Series 60')

$$\begin{aligned}Cm &= 0.977 + 0.085(Cb - 0.6) \\&= 0.986\end{aligned}$$

- Waterplan Coeffisien

$$\begin{aligned}Cwp &= 0,180 - 0,860 C_p \\&= 0,795\end{aligned}$$

- Prismatic Coeffisien

$$\begin{aligned}C_p &= C_b / C_m \\&= 0,715\end{aligned}$$

- Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)

$$\begin{aligned}LCB &= (8,80 - 38,9 Fn) \% Lwl = 0,11244 \% Lwl \\&= 26,017 \text{ LCB dari } Ap\end{aligned}$$

- Volume dan Berat Displacement

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= L \cdot B \cdot T \cdot C_B & \Delta &= L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \gamma \\&= 1973,65 \text{ m}^3 & &= 2022,99 \text{ ton}\end{aligned}$$



#### IV.4.2. Perhitungan Hambatan

Setelah didapatkan ukuran utama kapal selanjutnya dilakukan perhitungan hambatan. Perhitungan ini menggunakan metode Holtrop, dimana hambatan yang akan dihitung antara lain, hambatan kekentalan (*viscous resistance*), hambatan bentuk (*resistance of appendages*), hambatan gelombang (*wave making resistance*) dan hambatan udara (*air resistance*). Dengan menggunakan metode Holtrop tersebut maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel IV.14 Rekap Perhitungan Hambatan dan Propulsi

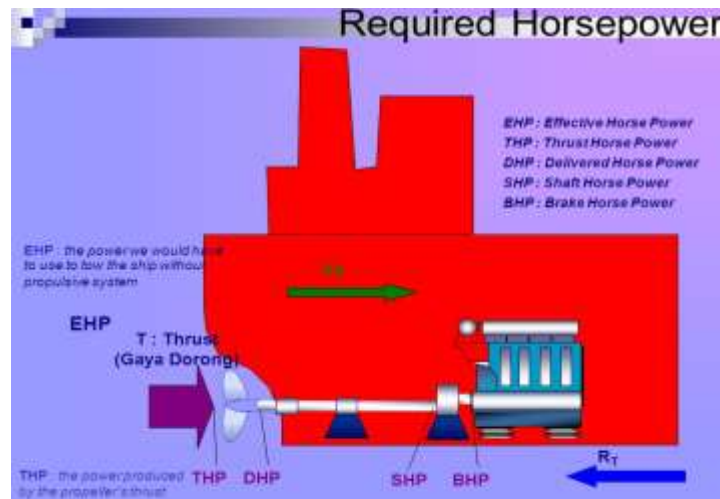
Rekap Hambatan dan Propulsi		
Rt	77,12	kN
EHP	396,72	kW
DHP	708,66	kW
BHP	852,91	kW

Pada tabel IV.14 diperoleh besarnya BHP adalah 852,91 kW dimana nilai BHP ini nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan mesin yang akan digunakan. Untuk detail perhitungan bisa dilihat pada lampiran.

Tabel IV.15 Specification Engine Wartsila 20DF

Pemilihan Mesin Induk :			
Tipe	=	20DF	Wartsila
Daya [ kW ]	=	1110	kW
RPM	=	1200	rpm
Panjang	=	3254	mm
Lebar	=	1690	mm
Tinggi	=	2000	mm
Berat	=	9,8	ton

Pada tabel IV.15 didapatkan spesifikasi mesin yang memenuhi kebutuhan daya dari kapal ini. Tipe mesin ini adalah *Wartsila 20DF* yang didapat dari katalog-katalog mesin *Wartsila*.



Gambar IV.10 Required Horsepower  
 Sumber: Rarson, 2001

#### IV.4.3. Perhitungan Berat Baja Kapal

Perhitungan berat baja kapal didapatkan dengan menggunakan metode Harvald & Jensen (1992), dari buku *Ship Design Efficiency and Economy* (Schneekluth: 1998). Berikut ini adalah hasil perhitungan berat baja kapal:

Volume Deck House

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2$$

$$= 847,872 \text{ m}^3$$

$$\text{Total Berat Baja} = L_{PP} \cdot B \cdot DA \cdot C_s$$

$$= 832,925 \text{ Ton}$$

LCG dari Midship

$$\text{LCG \%} = (-0.15 + \text{LCB\%}) \% L_{pp}$$

$$= -0,038 \% L_{pp}$$

$$\text{LCGM} = -0,020 \text{ m}$$

LCG dari FP

$$\text{LCGFP} = 0.5L_{pp} + \text{LCGM}$$

$$= 25,980 \text{ m}$$

LCG dari AP

$$\text{LCGAP} = L_{pp} - \text{LCGFP}$$

$$= 26,020 \text{ m}$$

#### IV.4.4. Perhitungan Berat Peralatan dan Perlengkapan

Tabel IV.16 Rekapitulasi Berat Peralatan dan Perlengkapan

Berat Peralatan Dan Perlengkapan	
Item	Berat
Grup II	18 Ton
Grup III	93,7 Ton
Grup IV	51,016 Ton
Tangki LNG	167,895 Ton
Tangki LNG Pack	6,95 Ton
W Total	337,561 Ton

Sehingga W peralatan dan perlengkapan total adalah 337,561 ton.

Titik berat dari peralatan dan perlengkapan adalah sebagai berikut;

LCG = -6,44 m, dibelakang midship

KG = 4,25 m

#### IV.4.5. Perhitungan DWT

Komponen berat kapal DWT dalam tugas akhir ini terdiri dari berat *crew* dan barang bawaannya, berat tangki air tawar, berat tangki bahan bakar, berat tangki minyak pelumas, serta berat tangki HFO.

Tabel IV.17 Rekapitulasi Perhitungan DWT

Dead Weight Tonnes (DWT)		
Consumable Weight		Satuan
W consum	16,87	Ton
KG consum	6,31	m
LCG consum dari FP	34,65	m
Payload		Satuan
W payload	675	Ton
KG payload	4,42	m
LCG payload dari FP	31,28	m

Tabel IV.17 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan berat DWT kapal yang terdiri dari berat muatan dan berat *consumable*.

#### IV.4.6. Perhitungan LWT

Berat LWT merupakan berat kapal kosong dan terdiri dari berat baja kapal, berat konstruksi lambung kapal, berat permesinan, dan peralatan yang digunakan.

Tabel IV.18 Rekapitulasi Perhitungan LWT

Light Weight Tonnes (LWT)		
Steel Weight		Satuan
W ST	832,925	Ton
KG ST	4,369	m
LCG ST dari FP	25,98	m
Equipment & Outfitting Weight		Satuan
W equipment & outfitting	337,56	Ton
KG equipment & outfitting	4,248	m
LCG dari FP	32,44	m
Machinery Weight		Satuan
WM	75,784	Ton
KGM	2,885	m
LCGM dari FP	44,92	m

Tabel IV.18 merupakan rekapitulasi perhitungan berat LWT kapal yang didesain.

#### IV.4.7. Perhitungan Berat Kapal

Berat kapal terdiri dari dua komponen, yaitu komponen DWT (*Dead Weight Tonnage*) dan komponen LWT (*Light Weight Tonnage*). Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan margin berat kapal sebesar 4,38 %. Sedangkan margin maksimal berat kapal yang diijinkan adalah 2% - 10%, sehingga perhitungan berat kapal diterima.

Tabel IV.19 Rekapitulasi Pengecekan Berat dan Displacement Kapal

Pengecekan Berat dan Displacement Kapal					
LWT =	1246,271	ton	LCG <sub>AP</sub> =	25,910	m
DWT =	691,867	ton	LCB <sub>AP</sub> =	26,017	m
Displ. =	1938,138	ton	} <b>Margin =</b>	4,38	%
Displ. = $L \times B \times T \times C_b \times \rho$					
=	2022,990	ton		<b>(memenuhi 2%-10%)</b>	

#### IV.4.8. Perhitungan Tonnase

Perhitungan *tonnage* atau tonase ada dua, yaitu gross tonnage (GT) dan *net tonnage* (NT). Ukuran *tonnage* kapal diperlukan pada saat proses pembayaran pajak dan sejenisnya. Dikarenakan setelah dilakukan konversi ada perubahan berat muatan dan penambahan bangunan atas maka perlu dilakukan perhitungan tonase kapal setelah dikonversi. Besarnya tonase kapal dihitung berdasarkan *International Convention on*

*Tonnage Measurement of Ships* 1969. Untuk perhitungan tonase secara keseluruhan dapat dilihat di Lampiran 7, sedangkan hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

### 1. *Gross Tonnage*

*Gross Tonnage* (GT) merupakan ukuran volume ruangan kapal yang tertutup secara keseluruhan, mulai dari ruangan kapal di bawah geladak cuaca ( $V_U$ ) sampai ruangan bangunan atas kapal ( $V_H$ ). Perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 7. Dan hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

- Volume ruangan tertutup di bawah geladak cuaca

$$V_U = 4143,253 \text{ m}^3$$

- Volume ruangan tertutup di atas geladak cuaca

$$V_H = 1455,264 \text{ m}^3$$

- Total volume ruangan tertutup

$$V = V_U + V_H = 5598,516 \text{ m}^3$$

- $K_1 = 0,2 + 0,02 \log V$

$$= 0,275$$

- $GT = K_1 \times V$

$$= 0,275 \times 5598,516$$

$$= 1539,376 \text{ ton}$$

### 2. *Net Tonnage*

*Net Tonnage* (NT) adalah volume ruang muat kapal ( $V_C$ ) dengan memperhitungkan jumlah orang dalam kapal. Perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 7. Dan hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

- Volume ruang muat

$$V_C = 1949,145 \text{ m}^3$$

- $K_2 = 0,2 + 0,02 \log V_C$

$$= 0,266$$

- $K_3 = 1,25 \times \frac{GT+10000}{10000}$

$$= 1,294$$

- $NT = K_2 \times V_C \times \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 + K_3 \times \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$

$$= 463,27$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan *gross tonnage* sebesar 1539,376 ton dan *net tonnage* sebesar 463,27 ton.

#### IV.4.9. Perhitungan *Trim*

*Trim* adalah perbedaan tinggi sarat kapal antara sarat depan dan belakang. Sedangkan *even keel* merupakan kondisi di mana sarat belakang  $T_b$  dan sarat depan  $T_a$  adalah sama. *Trim* terbagi dua yaitu:

1. *Trim* haluan
2. *Trim* buritan

Adapun batasan untuk *trim* didasarkan pada selisih harga mutlak antara LCG dan LCB dengan batasan  $\leq 0,5\%$  Lpp. Apabila perhitungan tidak memenuhi syarat, maka dapat diperbaiki dengan cara menggeser letak tangki-tangki yang telah direncanakan sebelumnya pada gambar rencana umum awal atau mengubah volume tangki-tangki pada *loadcase stability*. Untuk detail perhitungan pemeriksaan sarat dan *trim* kapal dapat dilihat pada Tabel IV-8.

Tabel IV.20 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Trim

No	Load Case	Batasan	Nilai	Status
1	LC I	0,26	0,196	Diterima
2	LC II	0,26	0,249	Diterima
3	LC III	0,26	0,206	Diterima
4	LC IV	0,26	0,189	Diterima
5	LC V	0,26	0,215	Diterima
6	LC VI	0,26	0,196	Diterima
7	LC VII	0,26	0,233	Diterima
8	LC VIII	0,26	0,241	Diterima

Kondisi *trim* kapal pada semua *loadcase* telah **memenuhi** kriteria.

#### IV.4.10. Perhitungan *Freeboard*

Lambung timbul atau *freeboard* merupakan daya apung cadangan kapal dan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan, baik keselamatan *crew*, muatan, dan kapal itu sendiri. Besarnya nilai *freeboard* diukur dari jarak secara vertikal pada bagian midship kapal dari tepi garis geladak hingga garis air di area midship. Dalam peraturan, perhitungan nilai *freeboard* dibedakan menjadi dua tipe sesuai dengan jenis dan kriteria kapal, yaitu kapal tipe A yang memiliki kriteria sebagai kapal yang didesain memuat muatan cair curah, memiliki akses bukaan ke kompartemen yang kecil, serta ditutup penutup bermaterial baja yang kedap, dan memiliki kemampuan menyerap air atau gas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh. Contoh jenis kapal yang termasuk pada

tipe A adalah *Tanker* dan *LNG Carrier*. Sedangkan kapal tipe B adalah kapal yang tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A. Sehingga *Dual Fuel LNG Carrier* ini merupakan kapal dengan tipe A.

Perhitungan lambung timbul secara rinci dapat dilihat dalam lampiran perhitungan lambung timbul dan pada Tabel IV.21 merupakan rekapitulasi perhitungan lambung timbul yang mengacu pada *freeboard* Tabular A.

Tabel IV.21 Rekapitulasi Lambung Timbul

Komponen Koreksi		<i>Freeboard</i>
<i>Freeboard</i> Standard	Fb1	467 mm
Fb koreksi Cb	Fb2	407,46 mm
Fb Koreksi <i>Depth</i>	Fb3	703,58 mm
Fb Koreksi SuperSt.	Fb4	-90,48 mm
Total <i>Freeboard</i> min	Fb'	613,08 mm

Lambung timbul minimum air laut untuk kapal tipe A adalah lambung timbul setelah dikoreksi dengan penambahan atau pengurangan. Besarnya lambung timbul tidak boleh kurang dari 613,08 mm. *Freeboard* sebenarnya pada kapal ini adalah 2700 mm. Karena Fb *Actual* lebih besar dari Fb' (Fb minimal) maka *freeboard* telah **memenuhi** persyaratan lambung timbul.

#### IV.4.11. Perhitungan Stabilitas

Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut memenuhi standard keselamatan pelayaran *Safety of Life at Sea* (SOLAS) atau *International Maritime Organization* (IMO). Perhitungan stabilitas dilakukan dengan bantuan software *Maxsurf Stability Enterprise Education Version*. Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan *software* adalah IS Code 2008. Tabel IV.22 merupakan rangkuman hasil perhitungan yang telah dibandingkan dengan batasannya:

Tabel IV.22 Stabilitas Kapal

Data	$e_{0-30^\circ}$ (m.deg)	$e_{0-40^\circ}$ (m.deg)	$e_{30-40^\circ}$ (m.deg)	$h_{30^\circ}$ (m.deg)	$\theta_{\max}$ (deg)	$GM_0$ (m)
Loadcase 1	34,9079	64,7159	29,808	3,65	60	1,88
Loadcase 2	35,3674	65,4063	30,0389	3,752	61,8	1,829
Loadcase 3	37,0772	68,3725	31,2953	3,94	62,7	2,002
Loadcase 4	37,7749	69,5489	31,774	4,019	63,6	2,15
Loadcase 5	37,9334	69,5489	31,9751	4,055	63,6	2,189
Loadcase 6	37,4256	69,0245	31,5989	4,008	63,56	2,213
Loadcase 7	37,4746	68,8639	31,4698	3,956	62,71	1,958
Loadcase 8	38,4746	70,7643	32,2897	4,083	62,7	2,119
Criteria Intact Stability	$\geq 3,1513$	$\geq 5,1566$	$\geq 1,7189$	$\geq 0,2$	$\geq 15$	$\geq 0,15$
Kondisi	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

Keterangan:

- $e_{0-30^\circ}$  adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai  $30^\circ$  sudut oleng,
- $e_{0-40^\circ}$  adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai  $40^\circ$  sudut oleng,
- $e_{30-40^\circ}$  adalah luasan bidang yang terletak di bawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng  $30^\circ$  dan  $40^\circ$
- $h_{30^\circ}$  adalah lengan statis (GZ) pada sudut oleng  $> 30^\circ$ .
- $\theta_{\max}$  adalah sudut dimana lengan stabilitas statis (GZ) maksimum terjadi.
- $GM_0$  adalah tinggi 56nergy56ter (MG) pada sudut oleng  $0^\circ$ .

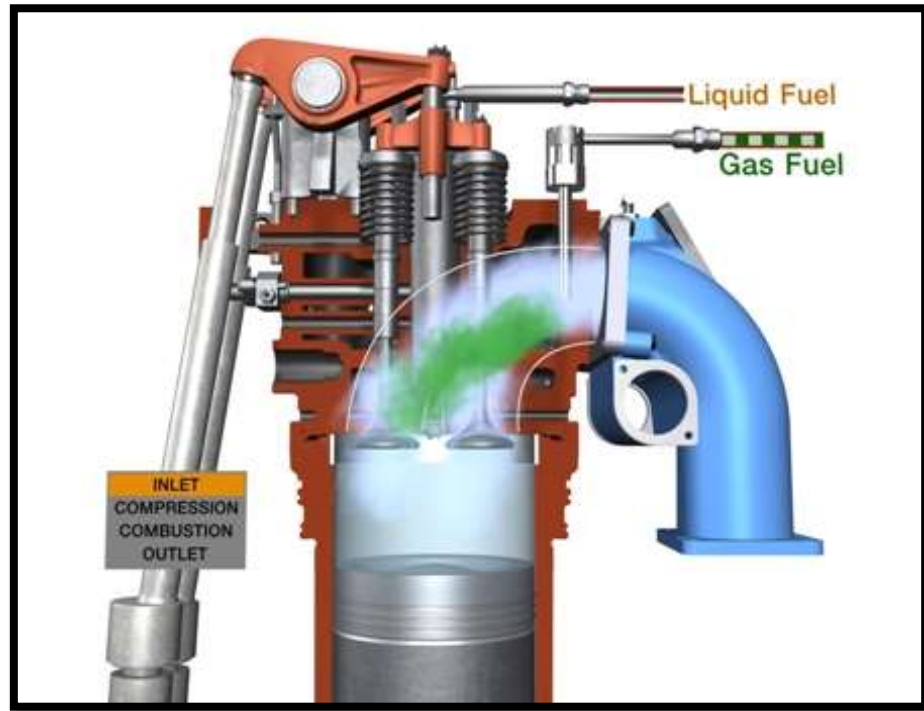
Load Case :

- Loadcase I adalah tangki bahan bakar berisi 100% dan tangki muatan 100%.
- Loadcase II adalah tangki bahan bakar berisi 70% dan tangki muatan 70%.
- Loadcase III adalah tangki bahan bakar berisi 50% dan tangki muatan 50%.
- Loadcase IV adalah tangki bahan bakar berisi 30% dan tangki muatan 30%.
- Loadcase V adalah tangki bahan bakar berisi 10% dan tangki muatan 10%.
- Loadcase VI adalah tangki bahan bakar berisi 10% dan tangki muatan 0%.
- Loadcase VII adalah tangki bahan bakar berisi 70% dan tangki muatan 50%.
- Loadcase VIII adalah tangki bahan bakar berisi 50% dan tangki muatan 25%.



## IV.5. Machinery Arrangement

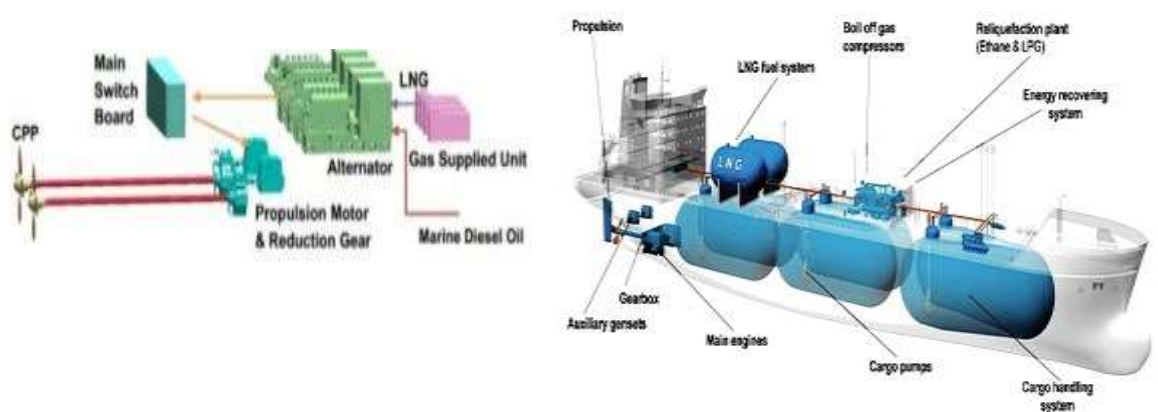
### IV.5.1. Proses Pembakaran LNG



Gambar IV.11 Proses Pembakaran Bahan Bakar

Bahan bakar gas (*LNG*) masuk melalui pipa *intake* bersamaan dengan percikan bahan bakar konvensional (*MDF/HFO*) sebagai pemicu pembakaran di dalam mesin *dual fuel*. BBG dibakar bersamaan dengan BBM dan menghasilkan energi yang lebih bersih.

### IV.5.2. Cara Kerja Dual Fuel Engine



Gambar IV.12 Skema Dual Fuel Vessel

Sumber : Wartsila, 2016

Setelah mengetahui proses pembakaran yang terjadi, berikut merupakan serangkaian proses *dual fuel system* pada *LNG Carrier*:

- Kapal mengangkut dua jenis *LNG* yang difungsikan sebagai muatan dan bahan bakar. Muatan *LNG* yang dibawa akan menghasilkan *boil-off gas (BOG)* yang akan menguap di dalam tangki muatan. *BOG* ini akan mengganggu kestabilan suhu dan tekanan pada tangki muatan, sehingga *BOG* ini akan dialirkan ke dalam tangki bahan bakar *LNG (LNGPac©)* untuk menjaga kestabilan tekanan dan suhu pada tangki muatan serta menambah *supply* dari bahan bakar *LNG* itu sendiri.
- Dari *LNGPac*, kemudian bahan bakar gas dialirkan kedalam Kamar Mesin melalui pipa khusus bertekanan (*pressurized pipe*), menuju *Gas Valve Unit (GVU)* hingga ke mesin penggerak utama kapal (Wartsila© 8L20DF). *GVU* ini berfungsi menjaga densitas BBG itu sendiri. *GVU* yang digunakan merupakan produk dari Wartsila©.
- Pada mesin penggerak utama (Wartsila© 8L20DF) terjadi pembakaran BBG dan BBM sehingga mesin dapat bergerak memutar poros dan *propeller*.

#### IV.6. Skenario Sistem Penggerak Kapal

Tabel IV.23 Skenario *Dual Fuel*

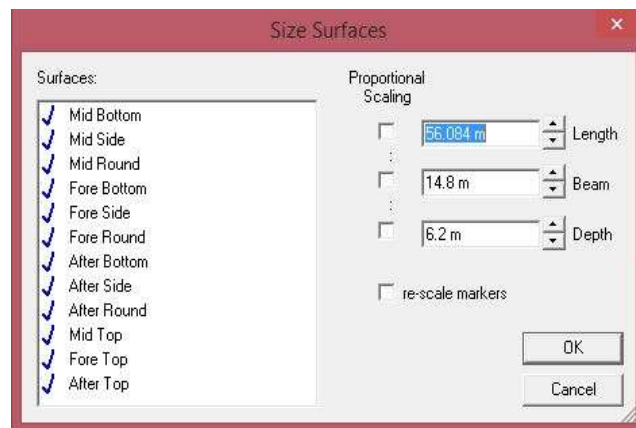
Gas Mode	Diesel Mode	Diesel Mode (Emergency)
		
Sebagai tenaga penggerak utama kapal serta penyedia kebutuhan listrik di kapal saat pagi dan malam hari.	Dioperasikan Sebagai pilot pemantik saat dimulainya proses pembakaran.	Dioperasikan hanya pada saat keadaan darurat dimana mesin tidak dapat beroperasi pada keadaan <i>dual fuel</i> .

Sumber: Wartsila, 2016

#### IV.7. Pembuatan *Lines Plan*

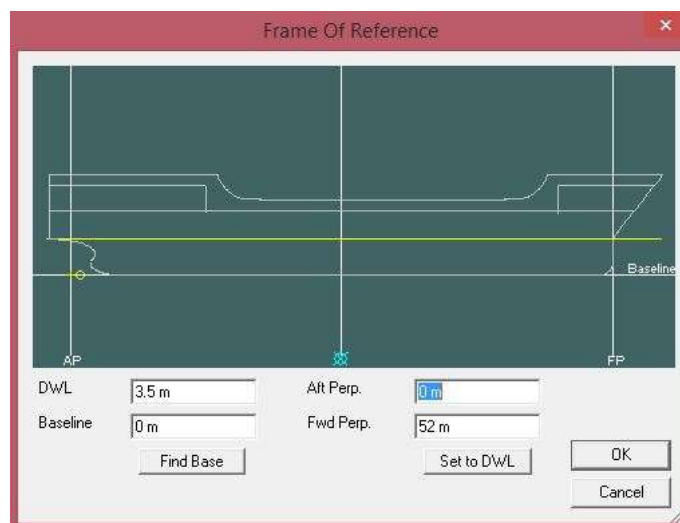
Proses pembuatan *lines plan* ini dibantu dengan menggunakan *software Maxsurf Modeler*. Untuk awalnya akan digunakan *sample design* yang sudah ada, kemudian *sample design* tersebut diatur sedemikian mungkin sehingga nilai-nilai yang ada di perhitungan koefisien bisa mendekati (memiliki ukuran utama, Cb, Cp, LCB, dan dispalsemen yang sama) dan juga memiliki bentuk kapal yang bagus.

Setelah *sample design* dibuka, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, tinggi kapal. Panjang yang ditentukan adalah LoA agar Lpp kapal bisa diatur sehingga sesuai dengan ukuran yang ada. Cara menentukannya yaitu pada menu *surface->size surface* kemudian akan muncul kotak dialog seperti gambar di bawah ini.



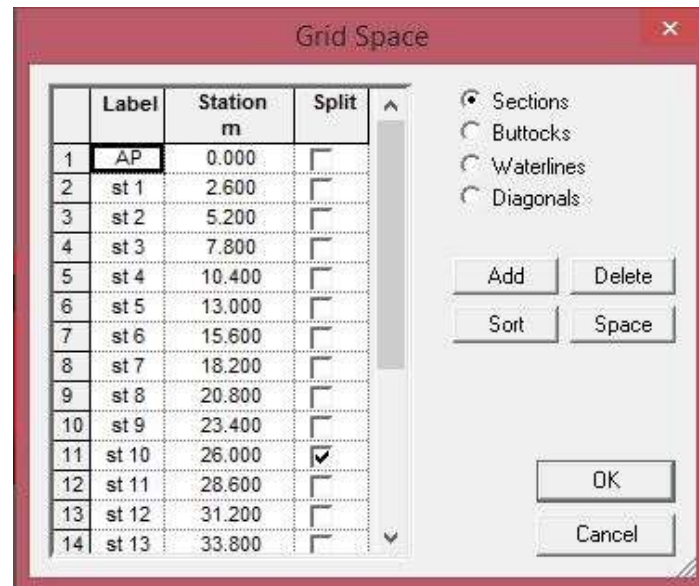
Gambar IV.13 *Size surfaces*

Selanjutnya menentukan sarat dan Lpp kapal sesuai dengan nilai pada perhitungan dengan cara menekan menu *Data->Frame of reference* seperti pada gambar berikut ini :



Gambar IV.14 *Frame Of Reference*

Untuk panjang diisi dengan Loa kapal, agar Lpp dapat sesuai dengan perhitungan. lebar dan tinggi disamakan dengan hasil perhitungan. Sedangkan untuk mengatur jumlah dan letak dari station, *Buttock line* dan *Water line*, dengan mengakses *menu data > design grid* dan akan muncul kotak dialog seperti pada gambar berikut.



Gambar IV.15 Pengaturan jumlah *station*

Setelah ukuran sesuai kemudian ditentukan sarat dari model ini. Untuk memasukkan nilai sarat kapal dilakukan dengan mengakses *menu data > frame of reference*. Pada Gambar IV.14 tampak panjang Lwl kapal.

Setelah sarat kapal ditentukan selanjutnya dilakukan pengecekan nilai hidrostatik dari model yang dibuat, yaitu dengan mengakses *menu data > calculate hydrostatic*. Dari sini akan tampak data-data hidrostatik model. Jika data belum sesuai dengan perhitungan maka perlu dilakukan perubahan terhadap model. Namun ketika data hidrostatik telah sesuai maka model ini dapat langsung diexport ke format *dxf* untuk di perbaiki dengan software *CAD*.

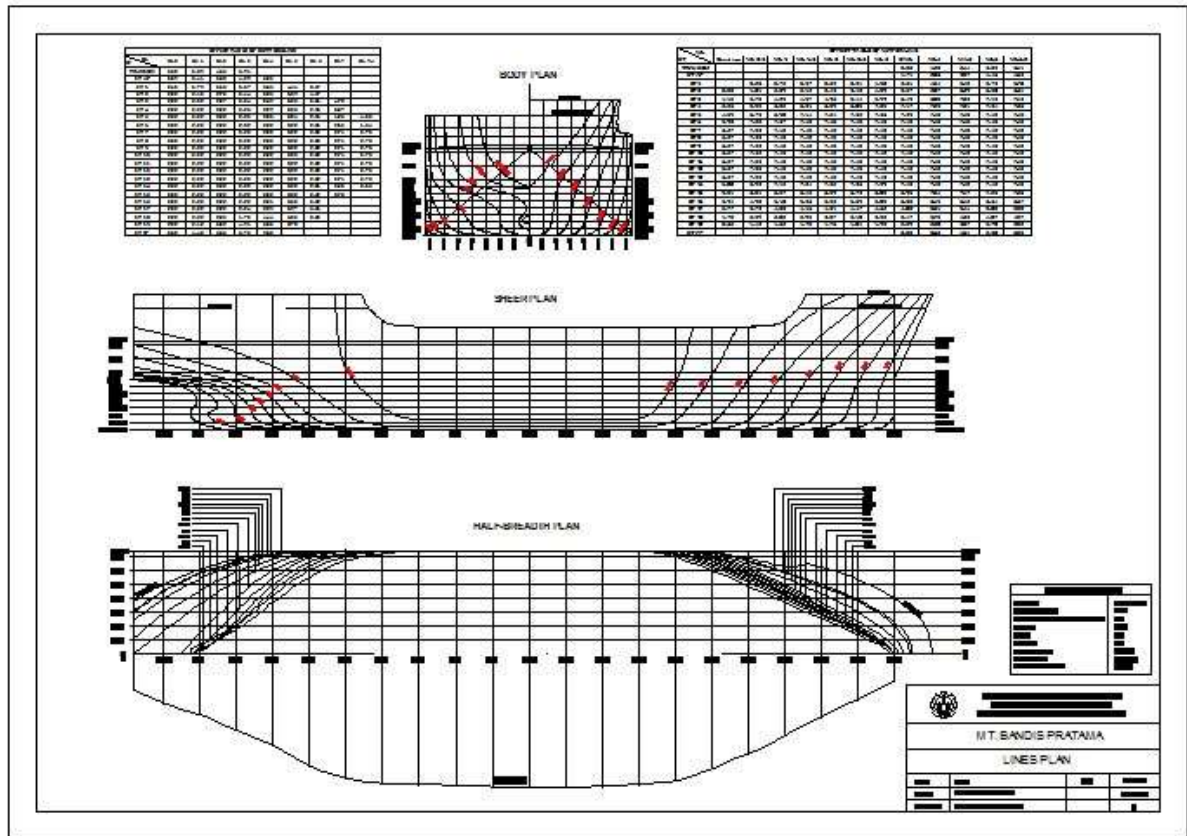
Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	2018.457	tonne
2	Volume	1969.226	m <sup>3</sup>
3	Draft to Baseline	3.5	m
4	Immersed depth	3.5	m
5	Lwl	54.08	m
6	Beam wl	14.8	m
7	WSA	920.584	m <sup>2</sup>
8	Max cross sect area	51.458	m <sup>2</sup>
9	Waterplane area	632.675	m <sup>2</sup>
10	Cp	0.708	
11	Cb	0.704	
12	Cm	0.993	
13	Cwp	0.79	
14	LCB from zero pt	25.971	m
15	LCF from zero pt	24.618	m
16	KB	1.811	m
17	KG	0	m
18	BMT	4.933	m
19	BMI	53.613	m
20	GMt	6.743	m
21	GMI	55.424	m
22	KMt	6.743	m
23	KMI	55.424	m
24	Immersion (TPc)	6.485	tonne/cm
25	MTc	21.514	tonne.m
26	RM at 1deg = GMt.Di	237.551	tonne.m
27	Precision	Medium	50 station

Density:  Recalculate  
 VCG:  Close

Gambar IV.16 Data *Hydrostatic*

Untuk menyimpan rencana garis dari model yang telah dibuat, buka salah satu pandangan dari model, kemudian klik *file > export > DXF and IGES*, atur skala 1:1, kemudian *klik ok* dan *save file* baru tersebut. Cara ini berlaku untuk semua pandangan dari model.

Setelah didapatkan *body plan*, *sheer plan* dan *halfbreadth plan*, langkah selanjutnya adalah menggabungkan ketiganya dalam satu *file dwg* yang merupakan output dari *software CAD*. Dalam proses penggabungan juga dilakukan sedikit *editing* pada rencana garis yang telah didapat.



Gambar IV.17 *Lines Plan*

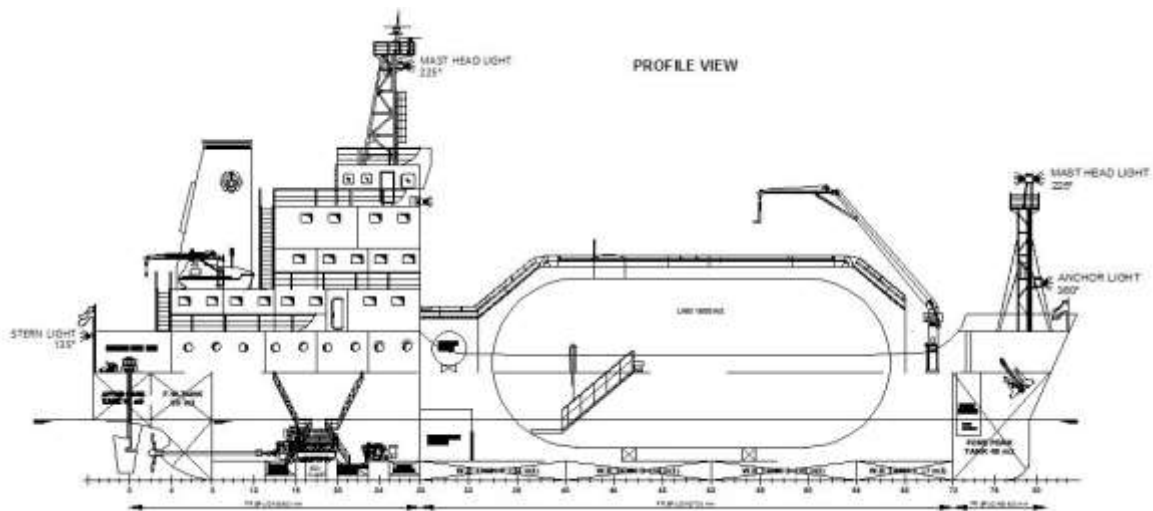
#### IV.8. Pembuatan *General Arrangement*

Dari gambar *Lines Plan* yang sudah di buat, maka dapat dibuat pula gambar *General Arrangement* dari *Dual Fuel LNG Carrier* ini. *General Arrangement* didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapan kapal. Pembuatan *General Arrangement* dilakukan dengan bantuan *software AutoCAD© 2016*.

##### IV.8.1. *Side Elevation*

Pada permodelan rencana umum dilakukan pemroyeksian *layout* kapal tampak samping. Jarak gading pada kapal ini adalah 0,6 m untuk di bagian Kamar Mesin dan Ceruk Haluan dan 0,7 m di bagian ruang muat. Detail permodelan rencana umum tampak samping dapat dilihat pada Gambar IV.16 berikut.



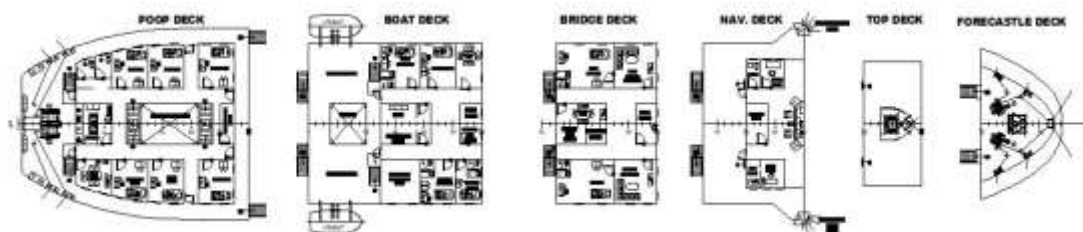


Gambar IV.18 *Profile View Dual Fuel LNG Carrier*

Pada proyeksi kapal tampak samping dapat dilihat bahwa kapal memiliki 3 sekat melintang sesuai dengan peraturan BKI untuk kapal dengan panjang kurang dari 65 m. Sekat tubrukan diposisikan pada jarak 4,16 m dari FP karena hasil perhitungan sekat tubrukan maksimal berjarak 7.16 m dari FP ( $0.08 L_c + 3$  m) berdasarkan rule BKI. Dapat dilihat pada Gambar IV.16 bahwa *Dual Fuel LNG Carrier* memiliki 1 unit tangki LNG tipe C dengan kapasitas 1500 m<sup>3</sup>, 1 *crane* LNG, LNG Pack 15 m<sup>3</sup> dan juga memiliki 5 buah *deck house* yaitu *poop deck*, *boat deck*, *bridge deck*, *navigation deck* dan *top deck*. *Dual Fuel LNG Carrier* memiliki 1 buah *totally enclosed freefall lifeboat* dan 2 buah *rescue boat*.

#### IV.8.2. Rumah Geladak (*Deck House*)

Layout rumah geladak pada rencana umum diproyeksikan tampak atas. Pada bagian ini permodelan *layout* dilakukan pada setiap *layer* geladak. Geladak tersebut terdiri dari *poop deck*, *bridge deck*, *navigation deck* dan *top deck* seperti pada Gambar IV.19



Gambar IV.19 *Layout Rumah Geladak Dual Fuel LNG Carrier*

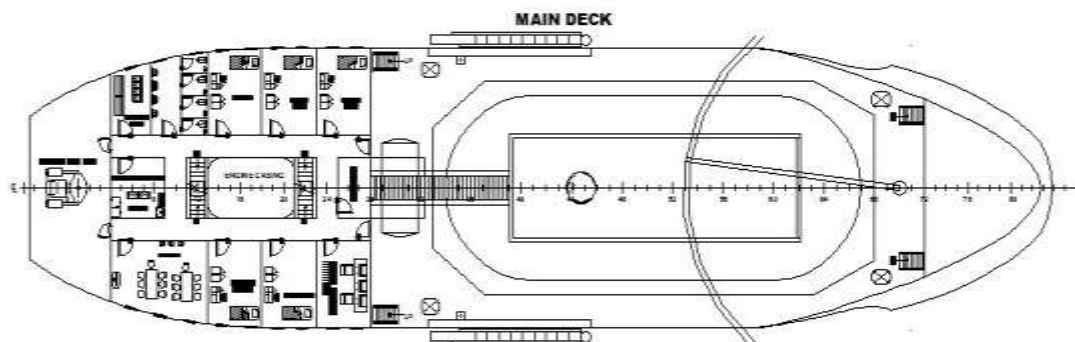
Pada bagian *poop deck* terdapat 11 ruangan diantaranya *provision store*, *officer mess room*, *crew mess room*, *meeting room*, *office room*, *cargo control room*, *galley*, *cold storage* dan *dry storage*.

Pada bagian *boat deck* terdapat 10 ruangan diantaranya *cafe*, *gymnasium room*, kantor, *foam and CO2 room*, *pray room*, *emergency genset room*, *medical center*, *meeting room*. 1 ruang kamar untuk *second engineer* dan 1 ruang kamar untuk *chief engineer*. Pada geladak ini terdapat dua *rescue boat* yang terpasang masing masing 1 buah pada bagian *portside* dan *starboard*. Pada bagian belakang geladak ini dipasang *freefall lifeboat* dengan kapasitas 25 orang.

Pada bagian *bridge deck* secara umum adalah ruang akomodasi untuk kapten dan *chief officer* yang dilengkapi dengan *office room*, *rest room*, kamar tidur, kamar mandi, *pray room* dan *pantry*.

#### IV.8.3. Geladak Utama (*Main Deck*)

*Layout* geladak utama (*main deck*) pada rencana umum *Dual Fuel LNG Carrier* ini diproyeksikan pada pandangan atas seperti pada Gambar IV.20.

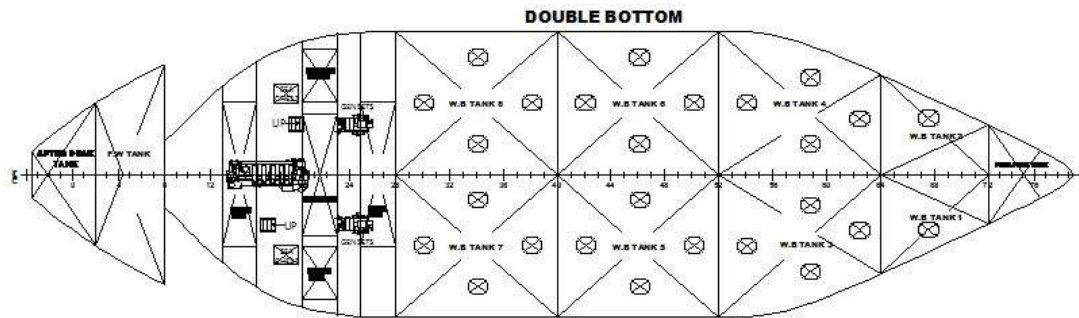


Gambar IV.20 *Main Deck Dual Fuel LNG Carrier*

#### IV.8.4. Double Bottom

*Layout double bottom* pada rencana umum *Dual Fuel LNG Carrier* diproyeksikan pada pandangan atas seperti pada gambar IV.19.





Gambar IV.21 *Double Bottom Dual Fuel LNG Carrier*

*Double bottom* difungsikan sebagai tangki ballast, tangki bahan bakar *MDF*, tangki minyak pelumas dan tangki pembuangan (*sewage*).

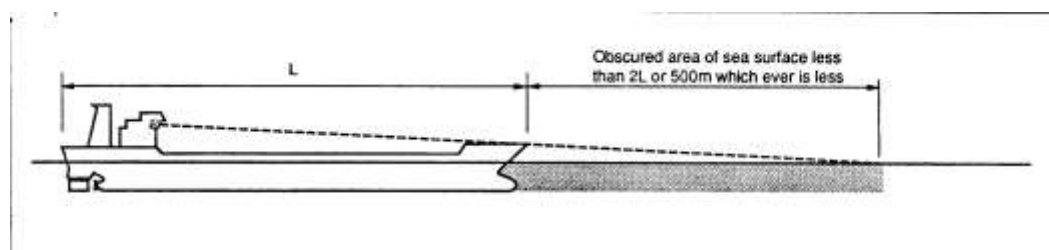
#### IV.9. *Hazardous Area*

UNECE salah satu badan PBB yang mengawasi dan meneliti risiko serta bahaya yang ada di lingkungan kerja khususnya yang menyangkut gas alam, menetapkan adanya pembagian tiga zona berbahaya berdasarkan **frekuensi** dan **durasi** munculnya uap gas alam baik disengaja maupun tidak sengaja:

- Zone 0 (Munculnya uap gas alam secara terus menerus).
- Zone 1 (Munculnya uap gas alam dapat terjadi pada keadaan normal).
- Zone 2 (Munculnya uap gas alam sangat jarang terjadi pada keadaan normal).

#### IV.10. *Pemeriksaan Navigation Bridge Visibility*

Menurut SOLAS Reg. V/22, kapal dengan panjang keseluruhan (Loa) 45 meter atau lebih yang dibangun pada atau sesudah 1 Juli 1998, pandangan terhadap permukaan laut dari posisi navigasi kapal tidak lebih dari dua kali panjang kapal (Loa), atau 500 meter, diambil yang lebih kecil. Ketentuan ini untuk memastikan keleluasaan pandangan kapal terhadap kapal lain dengan ukuran lebih kecil yang kemungkinan ada di depan kapal, sehingga menghindar terjadinya tabrakan.



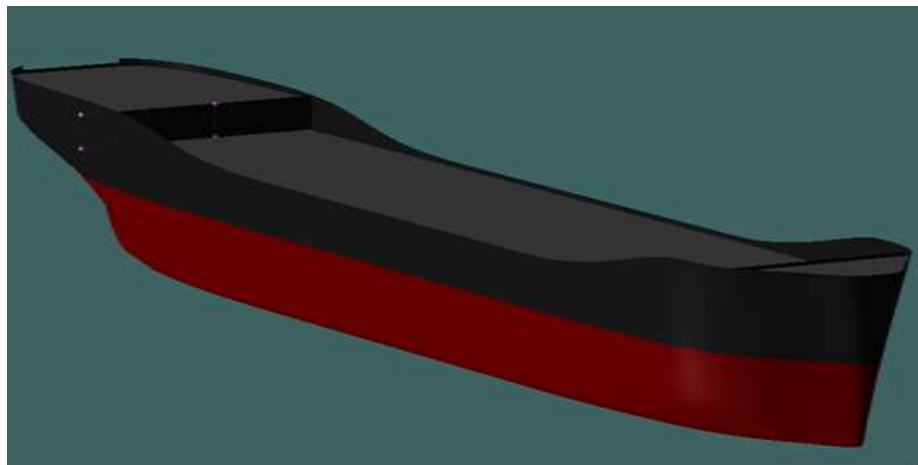
Gambar IV.22. *Aturan navigation bridge visibility*  
Sumber: Rohmadhana, 2016

#### IV.11. Permodelan 3 Dimensi

Setelah dilakukan permodelan rencana umum, selanjutnya permodelan 3D dapat dilakukan dengan pemroyeksian sesuai dengan rencana umum. Pengerjaan permodelan 3D dibantu dengan dua *software* yaitu *Maxurf* dan Sketchup 2016.

Pada tahap awal permodelan lambung menggunakan *software Maxsurf Modeler* dan menggunakan bantuan *sample design* yang sudah tersedia. *Sample design* tersebut diatur sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik yang sama dengan hasil tertentu (memiliki ukuran utama, *displacement*, CB,  $C_p$ , dan LCB yang sama). Setelah *sample design* dibuka, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, dan tinggi dari model yang dibuat. Caranya yaitu dengan mengubah ukuran *surface* pada menu *surface > size surface* kemudian akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar IV.14 pada sub bab sebelumnya.

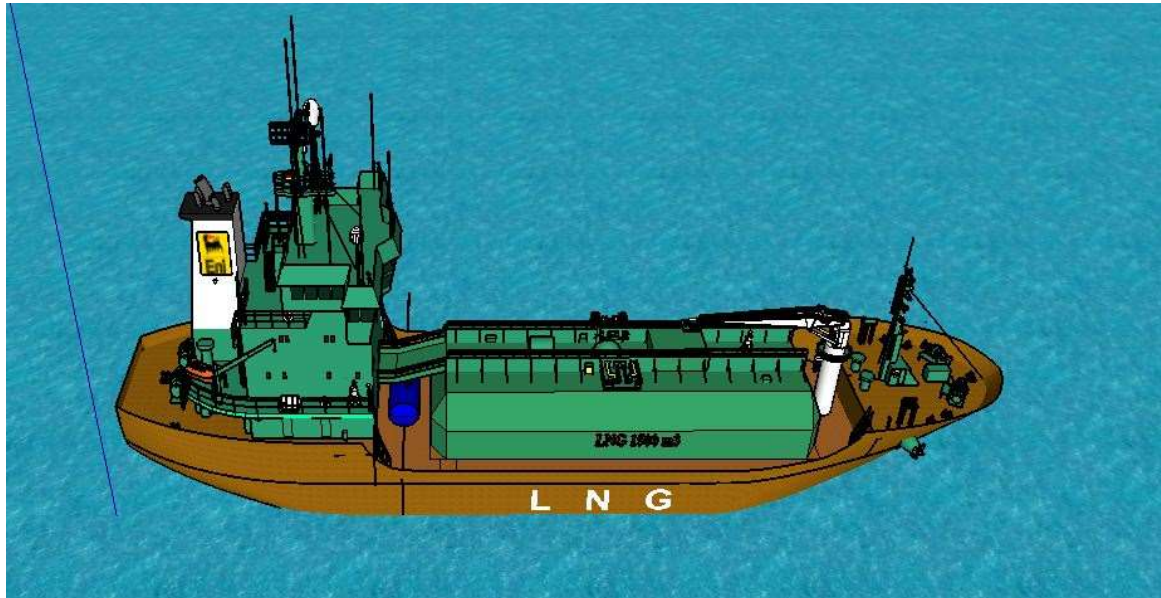
Pada proses pengerjaan permodelan 3D pada lambung dengan menggunakan *Maxurf Modeler* ini didapatkan bentuk model *hull*, *main deck*, *buritan*, dan *forecastle*. Kemudian untuk menampilkan bentuk hull secara pejal dengan menggunakan menu *rendering* pada *toolbar* yang tersedia sehingga didapatkan bentuk seperti pada Gambar 4.23 berikut.



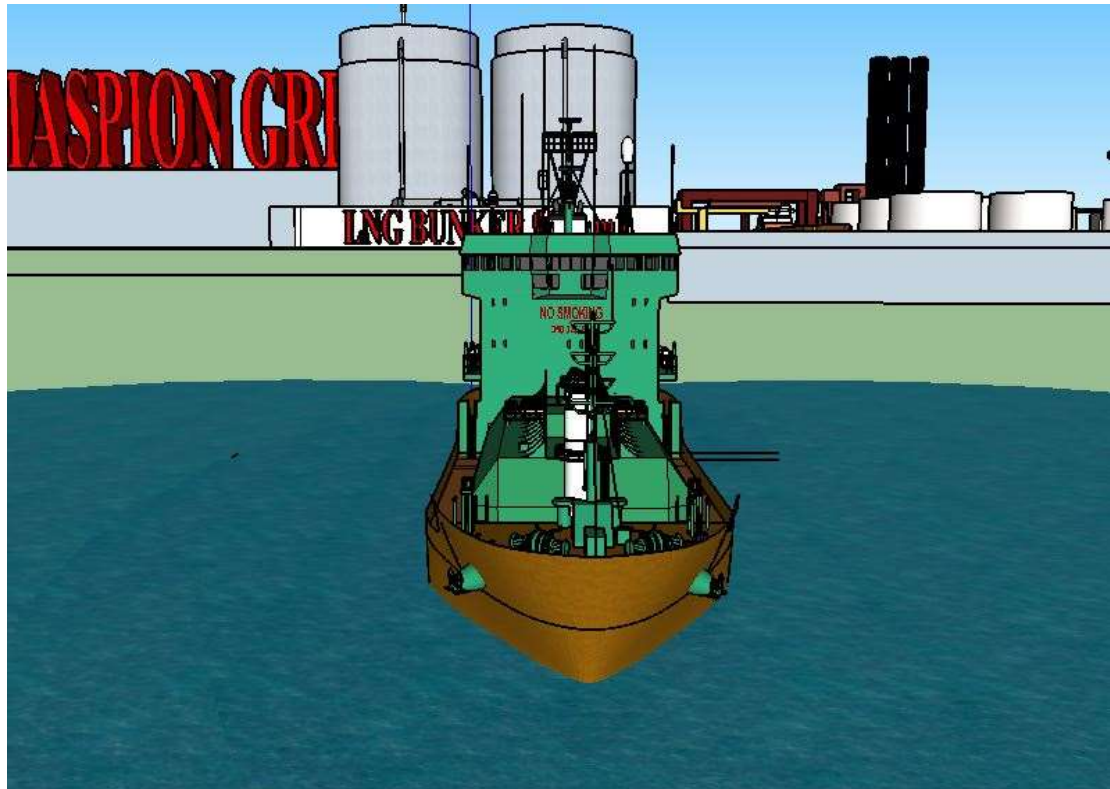
Gambar IV.23 Pemodelan 3D bentuk hull pada *software Maxsurf Modeler*

Proses pengerjaan selanjutnya adalah permodelan bangunan atas dan beberapa detail pada bagian main deck. Proses ini dikerjakan dengan dibantu *software Sketchup* 2015. Pengerjaan ini dilakukan dengan memproyeksikan gambar yang telah dibuat pada rencana umum. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuka gambar rencana umum pada sketch up kemudian meng-*import* permodelan 3D lambung yang telah dibuat sebelumnya pada *software Maxurf*, langkah selanjutnya adalah mencocokkan titik

koordinat antara lambung 3D dengan rencana umum sehingga dapat mempermudah proses pengerjaan dan membuat detail, bangunan atas, tangki LNG, serta peralatan pada kapal. Gambar IV.22 merupakan hasil permodelan 3D yang telah dibuat menggunakan *software sketchup*.



Gambar IV.24 Pemodelan 3D Side Elevation Pada *Software Sketchup*



Gambar IV.25 Pemodelan 3D Front Elevation Pada *Software Sketchup*

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB V

### ANALISIS EKONOMIS

#### V.1. Perhitungan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

Dalam melakukan estimasi biaya pembangunan, tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan komponen biaya yang dijadikan acuan, dalam penelitian ini yang dijadikan acuan adalah biaya dari komponen baja kapal. Besar biaya komponen baja kapal didapatkan dari perkalian berat komponen baja kapal dengan harga baja satuan per ton. Diketahui berat komponen baja kapal seberat 832,925 ton kemudian dikalikan dengan harga baja yang didapatkan dari (*SteelBenchmarker*, May 23, 2016 ).

Tabel V.1 Harga Baja.



STEELBENCHMARKER PRICES  
May 23, 2016  
dollars per metric tonne  
(net ton) (gross ton) (Excess)

Region: USA, East of the Mississippi

Hot-rolled band:	684	(620)
Cold-rolled coil:	874	(793)
Standard plate:	714	(648)
#1 Heavy melting scrap:	239	[243]
Shredded scrap*:	266	[270]
#1 Busheling scrap:	275	[279]

Perhitungan kebutuhan biaya komponen baja yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{\$ Steel Plate} = \text{WS} \times \text{UPS}$$

Dimana, WS = Berat komponen baja kapal

UPS = Harga baja satuan per ton

Sehingga dapat dilakukan perhitungan harga baja sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{\$ Steel Plate} &= 832,925 \text{ ton} \times 714 \$ \\ &= \$594.708,639\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan hasil harga komponen baja kapal yang akan dijadikan acuan. Berdasarkan Tabel V.1, harga komponen baja kapal termasuk pada poin 1.a Steel plate and profile yang memiliki persentase sebesar 21% dari harga total biaya

pembangunan kapal. Dikarenakan biaya dari komponen baja kapal ini akan menjadi biaya yang dijadikan acuan, maka dapat dihitung biaya pembangunan dari komponen lainnya berdasarkan harga baja yang dijadikan acuan dan persentase dari masing-masing komponen sesuai pada Tabel V.2 menurut (PERTAMINA, 2007). Perhitungan yang digunakan untuk komponen lainnya dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{\$ Komponen} = (\% \text{ Komponen} : \% \text{ Acuan}) \times \text{\$ Acuan}$$

dimana,

$$\% \text{ Acuan} = \% \text{ Steel plate and profile} = 21.00 \%$$

$$\text{\$ Acuan} = \$594.708,64$$

$$\% \text{ Komponen} = \text{Persentase komponen yang akan dicari harganya}$$

$$\text{\$ Komponen} = \text{Harga komponen yang akan dicari.}$$

Tabel V.2 Estimasi Biaya Pembangunan Kapal.

Cost	Detail	%	\$
<b>DIRECT COST</b>	<b>1. Hull Part</b>		
	1.a. Steel plate and profile	21,00	\$594.708,64
	1.b. Hull outfit, deck machiney and accommodation	7,00	\$198.236,21
	1.c. Piping, valves and fittings	2,50	\$70.798,65
	1.d. Paint and cathodic protection/ICCP	2,00	\$56.638,92
	1.e. Coating (BWT only)	1,50	\$42.479,19
	1.f. Fire fighting, life saving and safety equipment	1,00	\$28.319,46
	1.g. Hull spare part, tool, and inventory	0,30	\$8.495,84
	<b>Subtotal (1)</b>	<b>35,30</b>	<b>\$999.676,90</b>
	<b>2. Machinery Part</b>		
	2.a. Propulsion system and accessories	12,00	\$339.833,51
	2.b. Auxiliary diesel engine and accessories	3,50	\$99.118,11
	2.c. Boiler and Heater	1,00	\$28.319,46
	2.d. Other machinery in in E/R	3,50	\$99.118,11

	2.e. Pipe, valves, and fitting	2,50	\$70.798,65
	2.f. Machinery spare part and tool	0,50	\$14.159,73
	<b>Subtotal (2)</b>	<b>23,00</b>	<b>\$651.347,56</b>
	<b>3. Electric Part</b>		
	3.a. Electric power source and accessories	3,00	\$84.958,38
	3.b. Lighting equipment	1,50	\$42.479,19
	3.c. Radio and navigation equipment	2,50	\$70.798,65
	3.d. Cable and equipment	1,00	\$28.319,46
	3.e. Electric spare part and tool	0,20	\$5.663,89
	<b>Subtotal (3)</b>	<b>8,20</b>	<b>\$232.219,56</b>
	<b>4. Construction cost</b>		
	Consumable material, rental equipment and labor	20,00	\$566.389,18
	<b>Subtotal (4)</b>	<b>20,00</b>	<b>\$566.389,18</b>
	<b>5. Launching and testing</b>		
	<b>Subtotal (5)</b>	<b>1,00</b>	<b>\$28.319,46</b>
	<b>6. Inspection, survey and certification</b>		
	<b>Subtotal (6)</b>	<b>1,00</b>	<b>\$28.319,46</b>
	<b>TOTAL I (sub 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>	<b>88,50</b>	<b>\$2.506.272,12</b>
<b>INDIRECT COST</b>	7. Design cost	3,00	\$84.958,38
	8. Insurance cost	1,00	\$28.319,46
	9. Freight cost, import duties, IDC, Q/A, guarantee engineer, handling fee, guarantee & warranty cost.	2,50	\$70.798,65
	<b>TOTAL II (sub 7+ 8 + 9)</b>	<b>6,50</b>	<b>\$184.076,48</b>
<b>MARGIN</b>	<b>TOTAL III</b>	<b>5,00</b>	<b>\$141.597,30</b>
<b>GRAND TOTAL (I + II + III)</b>		<b>100,00</b>	<b>\$2.831.945,90</b>

Sumber: Pertamina, 2017



Berasarkan Tabel V.2 dilakukan perhitungan besarnya harga kapal dan didapatkan total harga kapal adalah **Rp. 37.837.629.171**. Perhitungan detail penilaian harga kapal dapat dilihat pada halaman lampiran.

## V.2. Perhitungan Estimasi *Break Even Point* (BEP)

### V.2.1. Biaya Operasional

Dalam pengoperasian *Dual Fuel LNG Carrier* ini dibutuhkan manajemen biaya yang perlu diperhatikan. Biaya yang dibutuhkan dalam pengoperasian *Dual Fuel LNG Carrier* ini akan menjadi pengeluaran (*outcome*) yang menjadi faktor pengurang dari hasil pendapatan. Sehingga *outcome* harus di minimalisir agar kapal ini dapat balik modal dan segera mendapatkan keuntungan bersih. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya biaya operasional di antaranya biaya perawatan kapal, asuransi, gaji kru kapal, cicilan pinjaman bank, serta biaya bahan bakar Berikut adalah beberapa biaya yang harus dikeluarkan:

#### 1. Biaya Pembelian LNG

Kapasitas LNG yang dibutuhkan setiap hari di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) yaitu 8440 m<sup>3</sup> merupakan bahan bakar baku utama dari kapal-kapal yang menggunakan mesin *dual fuel*. Harga LNG 7.75USD/m<sup>3</sup> atau setara dengan Rp.103.230,00- /m<sup>3</sup>. Sehingga biaya pembelian bahan baku LNG dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel V.3 Biaya Pasokan LNG.

Biaya Pasokan LNG	
Item	LNG
Quantiy	1
Price (Rp)/m <sup>3</sup>	Rp 103.230,00
Production Quantity (m <sup>3</sup> /day)	8.440
total price (Rp/day)	Rp 871.261.200,00
Production Quantity (m <sup>3</sup> /month)	253.200
Total Price (Rp/month)	Rp 26.137.836.000,00
Total Price (Rp/year)	Rp 313.654.032.000,00

Sumber: Japan Liquefied Natural Gas, 2017

Dari tabel V.3 dapat disimpulkan bahwa total pengeluaran setiap tahun untuk pembelian LNG adalah sebesar **Rp. 313.654.032.000** atau **Rp. 26.137.836.000** per bulan



## 2. Gaji Pegawai

*Dual Fuel LNG Carrier* memiliki karakteristik melayani kapal-kapal yang membutuhkan bahan bakar LNG secara shuttle dengan mengambil LNG di Bungkering Onshore to Ship yang ada di Terminal Maspion Gresik dengan waktu operasi 24 jam. Untuk itu diperlukan 2 *shift* kerja dengan waktu 8 jam per shift. Sehingga perhitungan gaji pegawai dapat ditunjukkan pada Tabel V.4 berikut:

Tabel V.4 Gaji Pegawai.

No	Item	Person	Monthly payment (Rp)/person	Annual payment (Rp)/person	monthly payment (Rp)	Annual payment (Rp)
1	Chief Cook	1	8.000.000,00	96.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
2	Assist Cook	1	3.000.000,00	36.000.000,00	3.000.000,00	36.000.000,00
3	Chief Officer	1	27.000.000,00	324.000.000,00	27.000.000,00	324.000.000,00
4	steward	1	3.000.000,00	36.000.000,00	3.000.000,00	36.000.000,00
5	Pumpman	2	3.000.000,00	36.000.000,00	6.000.000,00	72.000.000,00
6	Quarter Master	1	12.000.000,00	144.000.000,00	12.000.000,00	144.000.000,00
7	Seaman	2	3.000.000,00	36.000.000,00	6.000.000,00	72.000.000,00
8	Operator LNG	4	10.000.000,00	120.000.000,00	40.000.000,00	480.000.000,00
9	Second Engineer	1	26.000.000,00	312.000.000,00	26.000.000,00	312.000.000,00
10	Engine Crew	2	20.000.000,00	240.000.000,00	40.000.000,00	480.000.000,00
11	Master/Captain	1	30.000.000,00	360.000.000,00	30.000.000,00	360.000.000,00
12	Chief Engineer	1	29.000.000,00	348.000.000,00	29.000.000,00	348.000.000,00
TOTAL				2.088.000.000,00	230.000.000,00	2.760.000.000,00
				Total 2 Shift	460.000.000,00	5.520.000.000,00

Sehingga dapat disimpulkan dari Tabel V.4 biaya yang harus dikeluarkan untuk gaji pegawai selama satu tahun adalah **Rp. 5.520.000.000** atau **Rp. 460.000.000** per bulan.

## 3. Biaya Perawatan, Asuransi dan Biaya Kebutuhan Bahan Bakar Dual Fuel LNG Carrier.

Biaya operasional Dual Fuel LNG Carrier terdiri dari biaya bahan bakar LNG, Fuel Oil, Diesel Oil, Lubrication oil dan biaya perawatan kapal.

Tabel V.5 Biaya Fuel Oil.

Fuel Oil		
Kebutuhan Bahan Bakar	3,44	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp 6.800.000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp 23.394.627,35	per hari
Harga bahan bakar	Rp 701.838.821	per bulan
Harga bahan bakar	Rp 8.422.065.846,48	per tahun

Tabel V.6 Biaya Bahan Bakar LNG

Bahan Bakar LNG		
Kebutuhan Bahan Bakar	13,75	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp 103.230	per/m3
Harga bahan bakar	Rp 2.839.078,96	per hari
Harga bahan bakar	Rp 85.172.369	per bulan
Harga bahan bakar	Rp 1.022.068.424,79	per tahun

Tabel V.7 Biaya Diesel Oil.

DIESEL Oil		
Kebutuhan Bahan Bakar	0,22	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp 6.800.000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp 1.466.229,60	per hari
Harga bahan bakar	Rp 43.986.888	per bulan
Harga bahan bakar	Rp 527.842.656,00	per tahun

Tabel V.8 Biaya Lubrication Oil

LUBRICATION Oil		
Kebutuhan Bahan Bakar	0,002	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp 21.110.380	per/m3
Harga bahan bakar	Rp 41.539,41	per hari
Harga bahan bakar	Rp 1.246.182	per bulan
Harga bahan bakar	Rp 14.954.188,19	per tahun

Tabel V.9 Biaya Perawatan dan Asuransi

Biaya Perawatan		
<i>Diasumsikan 10% total dari building cost</i>		
Total maintenance cost	Rp 3.783.762.917	per tahun
Total maintenance cost	Rp 315.313.576	per bulan
ASURANSI		
<i>Diasumsikan 2% total dari building cost</i>		
Total maintenance cost	Rp 756.752.583	per tahun
Total maintenance cost	Rp 63.062.715	per bulan

Dari perhitungan biaya operasi kapal dapat dilihat bahwa total pengeluaran setiap tahun untuk biaya perawatan, asuransi dan bahan bakar kapal adalah sebesar **Rp. 17.554.456.949,57** atau **Rp. 1.462.871.412,46** setiap bulan.

Total Out-come = biaya pembelian LNG + Gaji Pegawai + biaya perawatan + bahan bakar + asuransi

$$\begin{aligned}\text{Total Out-come} &= \text{Rp. 313.654.032.000} + \text{Rp.5.520.000.000} + \text{Rp. 3.783.726.917} + \text{Rp. 756.752.583} \\ &= \text{Rp. 339.221.478.615,93 per tahun.}\end{aligned}$$

### V.2.2. Total In-Come Penjualan LNG

Tugas utama *Dual Fuel LNG Carrier* adalah sebagai Bungkering Shuttle untuk mensuplai bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya. Kapal- kapal yang menggunakan bahan bakar LNG ini dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel V.10 Total In-Come Penjualan LNG.

IN-COME				
Kebutuhan Bahan Bakar LNG			Harga LNG per m3	Tarif per hari
Cargo Ship di APBS (m3)	5365	m3	Rp140.000	Rp751.100.000
Tanker Ship di APBS (m3)	1002	m3	Rp140.000	Rp140.280.000
Passenger Ship di APBS Area (m3)	2073	m3	Rp140.000	Rp290.220.000
Total In-Come =				Rp1.181.600.000

Sumber : [www.LNGBungkering.com](http://www.LNGBungkering.com) (LNG = 10,47 USD/m<sup>3</sup>).

Dari Tabel V.12 dapat disimpulkan bahwa total harga LNG dalam satu tahun adalah sebesar **Rp. 425.376.000.000** atau **Rp. 35.448.000** per bulan. Dimana harga inilah yang menjadi sumber pendapatan utama (In-Come) dari *Dual Fuel LNG Carrier* yang selanjutnya akan menjadi dasar perhitungan *Breakenven Point*.

### V.2.3. Estimasi Keuntungan Bersih

Setelah dilakukan perhitungan harga *LNG Bngkering* yang menjadi bahan bakar utama, langkah selanjutnya adalah perhitungan estimasi keuntungan bersih. Diasumsikan setiap hari jumlah LNG yang dibutuhkan di APBS yaitu 100%. Maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Keuntungan kotor per tahun} &= \text{Rp. 425.376.000.000} - \text{Rp. 339.221.478.615,93} \\ &= \text{Rp . 86.154.521.384,67}\end{aligned}$$

$$\text{Keuntungan kotor per bulan} = \text{Rp. 7.179.543.448,67}$$

Berikut ini adalah estimasi biaya keuntungan bersih yang terangkum dalam tabel di bawah ini :

Tabel V.11 Estimasi Keuntungan Bersih Kapal

Item	Nominal
Biaya Investasi	Rp 37.837.629.170,50
Modal Bank 70%	Rp 26.486.340.419,35
Hutang perbulan bunga 12.5%	Rp 55.179.875,87
Keuntungan kotor	Rp 7.179.543.448,67
Biaya Operasional (Gaji)	Rp 460.000.000,00
Biaya perawatan	Rp 3.783.762.917,05
Biaya Takterduga 5 %	Rp 358.977.172,43
Pajak penghasilan Usaha 25%	Rp 1.794.885.862,17
Keuntungan Bersih	<b>Rp 726.737.621,15</b>

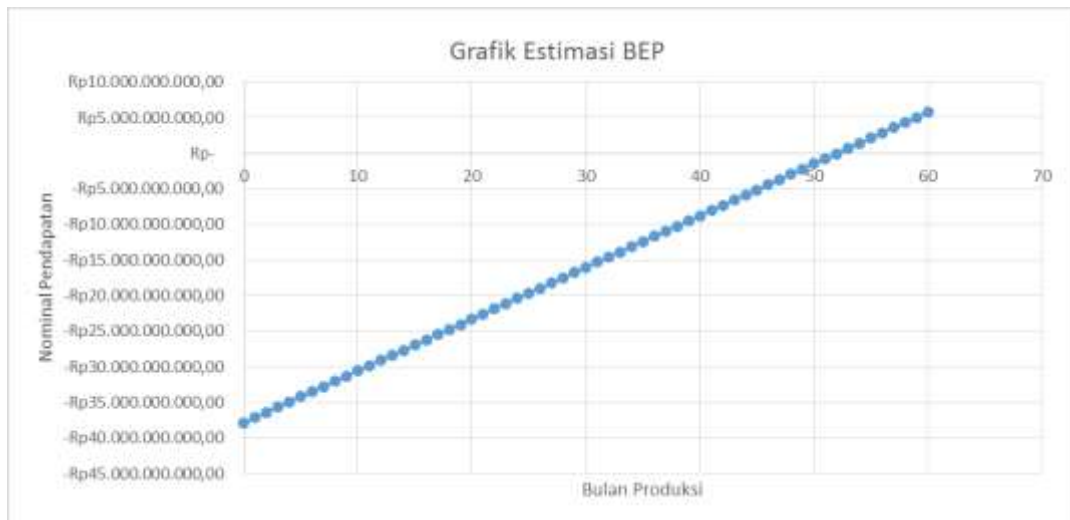
Dari Tabel V.13 dapat dilihat bahwa keuntungan bersih yang didapat selama satu bulan diestimasi sebesar **Rp 726.737.621,15** per bulan dengan estimasi modal dari Bank 70% dengan bunga 12.5% berdasarkan suku bunga credit BNI 2017 untuk credit diatas Rp. 100.000.000.000 dengan pembayaran 60 bulan (5 Tahun).

#### V.2.4. Estimasi Perhitungan *Break Even Point* (BEP)

Dari perhitungan pada subbab V.2 sebelumnya, dapat dilihat bahwa estimasi biaya pembangunan kapal adalah sebesar **Rp 37.837.629.171** dan estimasi keuntungan bersih kapal tiap bulannya adalah **Rp 726.737.621,15**. Dari kedua estimasi tersebut maka dapat dilakukan estimasi terjadinya *break even point* atau disebut juga dengan titik balik modal. Dalam kondisi ideal, semakin cepat terjadinya *BEP* semakin baik juga. Namun, pada kenyataannya *BEP* memakan waktu yang cukup lama berbanding lurus dengan biaya produksi yang dikeluarkan.

Tabel V.12 Hasil Estimasi BEP

Bulan ke	Nominal	
0	-Rp 37.837.629.170,50	31 -Rp 15.308.762.914,95
1	-Rp 37.110.891.549,36	32 -Rp 14.582.025.293,80
2	-Rp 36.384.153.928,21	33 -Rp 13.855.287.672,66
3	-Rp 35.657.416.307,06	34 -Rp 13.128.550.051,51
4	-Rp 34.930.678.685,92	35 -Rp 12.401.812.430,36
5	-Rp 34.203.941.064,77	36 -Rp 11.675.074.809,22
6	-Rp 33.477.203.443,62	37 -Rp 10.948.337.188,07
7	-Rp 32.750.465.822,48	38 -Rp 10.221.599.566,92
8	-Rp 32.023.728.201,33	39 -Rp 9.494.861.945,78
9	-Rp 31.296.990.580,18	40 -Rp 8.768.124.324,63
10	-Rp 30.570.252.959,03	41 -Rp 8.041.386.703,48
11	-Rp 29.843.515.337,89	42 -Rp 7.314.649.082,34
12	-Rp 29.116.777.716,74	43 -Rp 6.587.911.461,19
13	-Rp 28.390.040.095,59	44 -Rp 5.861.173.840,04
14	-Rp 27.663.302.474,45	45 -Rp 5.134.436.218,89
15	-Rp 26.936.564.853,30	46 -Rp 4.407.698.597,75
16	-Rp 26.209.827.232,15	47 -Rp 3.680.960.976,60
17	-Rp 25.483.089.611,01	48 -Rp 2.954.223.355,45
18	-Rp 24.756.351.989,86	49 -Rp 2.227.485.734,31
19	-Rp 24.029.614.368,71	50 -Rp 1.500.748.113,16
20	-Rp 23.302.876.747,57	51 -Rp 774.010.492,01
21	-Rp 22.576.139.126,42	52 -Rp 47.272.870,87
22	-Rp 21.849.401.505,27	53 Rp 679.464.750,28
23	-Rp 21.122.663.884,13	54 Rp 1.406.202.371,43
24	-Rp 20.395.926.262,98	55 Rp 2.132.939.992,57
25	-Rp 19.669.188.641,83	56 Rp 2.859.677.613,72
26	-Rp 18.942.451.020,69	57 Rp 3.586.415.234,87
27	-Rp 18.215.713.399,54	58 Rp 4.313.152.856,01
28	-Rp 17.488.975.778,39	59 Rp 5.039.890.477,16
29	-Rp 16.762.238.157,24	60 Rp 5.766.628.098,31
30	-Rp 16.035.500.536,10	



Gambar V.1 Grafik Estimasi BEP

Dari Gambar V.1 dapat ditarik kesimpulan bahwa BEP akan terjadi pada bulan ke 53 (4,4 tahun) operasional *Dual Fuel LNG Carrier* dengan estimasi pengambilan keuntungan bersih per bulan sebesar Rp 726.737.621,15. NPV sebesar Rp 735.538.497,09 dan IRR 13,5 %, dari hasil ini maka proyek ini layak untuk dilakukan.

#### V.2.5. Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar *Dual Fuel* dan konvensional

Tabel V.13 Perbandingan Bahan Bakar *Dual Fuel* dan Konvensional

Perbandingan Bahan Bakar <i>Dual Fuel</i> dan Konvensional					
Dual Fuel			Konvensional		
LNG	13,75	m3/trip	MDO	17,2	m3/trip
MDO	3,45	m3/trip			
Harga Bahan Bakar	Rp 103.230	per/m3	Harga Bahan Bakar	Rp 6.800.000	per/m3
Harga Bahan Bakar	Rp 35.419.413	per hari	Harga Bahan Bakar	Rp 116.960.000	per hari
Harga Bahan Bakar	Rp 746.382.375	per bulan	Harga Bahan Bakar	Rp 3.508.800.000	per bulan
Harga Bahan Bakar	Rp8.956.588.500	per tahun	Harga Bahan Bakar	Rp42.105.600.000	per tahun

Dari tabel V.13 dapat dilihat bahwa penggunaan bahan bakar dual fuel (LNG dan MDO) jauh lebih hemat dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar konvensional yaitu MDO. Pengeluaran setiap hari untuk sistem dual fuel yaitu sebesar Rp 35.419.413, dan untuk konvensional sebesar Rp 116.960.000. Jadi penggunaan bahan bakar *dual fuel* (LNG dan MDO) dapat menghemat 70% biaya operasional dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *konvensional* yaitu MDO.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### VI.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ukuran utama *Dual Fuel LNG Carrier* berdasarkan kebutuhan konsumsi bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya untuk setiap harinya. Dari data tersebut, kemudian dibuat *layout* awal dan didapatkan *payload* 1500 m<sup>3</sup>. Desain *Dual Fuel LNG Carrier* ini dapat diimplementasikan sebagai media untuk suplai bahan bakar LNG di Alur Pelayaran Barat Surabaya, dan dapat mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal untuk proses pengisian bahan bakar LNG
2. Ukuran Utama *Dual Fuel LNG Carrier* yang didesain yaitu:
  - Lpp (Panjang) = 52 m
  - B (Lebar) = 14,8 m
  - H (Tinggi) = 6,2 m
  - T (Sarat) = 3,5 m

Desain *Lines Plan* , *General Arrangement* , telah dibuat dan dilampirkan pada lampiran.

3. Perhitungan teknis dan ekonomis yang dilakukan telah memenuhi.
  - Perhitungan berat yang telah dilakukan menghasilkan margin berat sebesar 4,38%. *Displacement* kapal adalah 2023 ton dan berat kapal (*LWT+DWT*) adalah 1938,87 ton, sehingga perhitungan berat **diterima**.
  - Sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan kondisi trim buritan **diterima** karena selish *LCG* dan *LCB* kurang dari 0.5 % dari Lpp kapal yaitu 0.26.
  - Perhitungan lambung timbul yang telah dilakukan menghasilkan batasan lambung timbul sebesar 613,08 mm, sedangkan lambung timbul kapal sebenarnya adalah 2700 mm. Sehingga perhitungan lambung timbul **diterima**.
  - Perhitungan stabilitas yang dilakukan menggunakan acuan regulasi dari *IMO IS Code* 2008. Hasil yang didapatkan semua parameter stabilitas telah **diterima**.

- Dari perhitungan didapatkan *gross tonnage* sebesar 1539,376 ton dan *net tonnage* sebesar 463,27 ton.
  - Berdasarkan Analisis Ekonomis yang dilakukan, didapatkan biaya investasi pembangunan *Dual Fuel LNG Carrier* sebesar Rp 37.837.629,171 Estimasi keuntungan bersih perbulan adalah sebesar Rp 726.737621,15. BEP akan terjadi pada bulan ke 53 (4,4 tahun). NPV sebesar Rp 735.538.497,09 dan IRR 13,5 %, dari hasil ini maka proyek ini layak untuk dilakukan. Penggunaan bahan bakar *dual fuel* (LNG dan MDO) dapat menghemat 70% biaya operasional dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *konvensional* yaitu MDO. Pengeluaran setiap hari untuk sistem dual fuel yaitu sebesar Rp 35.419.413, dan untuk konvensional sebesar Rp 116.960.000.
4. Desain 3D model telah dibuat dan dilampirkan pada lampiran.

## **VI.2. Saran**

1. Perlu adanya tinjauan lebih rinci terhadap aspek konstruksi dan kekuatan *Dual Fuel LNG Carrier*, mengingat pada Tugas Akhir ini masih banyak digunakan perhitungan secara pendekatan.
2. Perlu dibuat permodelan 3D yang lebih presisi dan lebih mendetail terkait *fuel system configuration* maupun peralatan dan perlengkapan yang tersedia pada kapal.
3. Serta diharapkan adanya perhitungan & analisis ekonomis yang riil terhadap anggaran pembangunan *Dual Fuel LNG Carrier* sehingga kapal ini dapat direalisasikan dan dapat menjadi solusi dalam distribusi bahan bakar gas *ship to ship*.



## DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping. (2014). *LNG Bunkering Technical and Operational Advisory*. Houston.
- Ariana, Made. (2013). Tinjauan Teknis Ekonomis Pemakaian *Dual Fuel* pada *Tug Boat* PT. Pelabuhan Indonesia II. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *BKI Rules Vol.II Rules for Hull*. Jakarta.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *BKI Vol.IX Rules for Ship Carrying Liquefied Gases in Bulk*. Jakarta.
- Buda Artana, K. (2005). *Transfortasi LNG Indonesia*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Dieselnet.(2016,10 21). *IMO Marine Engine Regulation*. Retrived Nopember 13, 2016, from dieselnet.com: <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>
- Hafiz, M. R. (2014). Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. *Desain Kapal Penumpang Barang Untuk Pelayaran Gresik-Bawean*, 11.
- Haq, G. W. (2015). Tugas AKhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. *Desain Self-Propelled Container Barge (SPCB) Pengangkut Peti Kemas Berbasis Jalur Sungai Pada Program "Tol Laut" Cikarang Bekasi Laut (CBL) - Tanjung Priok*, 43.
- International Maritima Organization. (1969). *International Convention on Tonnage Meaurements of Ships*. London: IMO.
- International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)*. London: IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (1978). *MARPOL 73/78*. International Maritime Organization.
- International Maritime Organization. (1993). *International Gas Code*. International Maritime Organization .
- International Maritime Organization. (2008). *Intact Stability Code*. London.
- Kementrian ESDM. (2014). *Potensi dan Peluang Investasi Sektor Energi dan Sumber Daya Mineral*. Jakarta: kementrian ESDM.
- Kompasiana. (2014, 04 24). *Indonesia Pasar Energi yang Tumbuh Pesat di Indonesia*. Retrieved Nopember 01, 2016, from kompasiana.com: [http://www.kompasiana.com/hanannugroho/indonesia-pasar-energi-yang-tumbuh-cepat-di-asia\\_54f791d7a33311a3738b477b](http://www.kompasiana.com/hanannugroho/indonesia-pasar-energi-yang-tumbuh-cepat-di-asia_54f791d7a33311a3738b477b)
- Kurniawati, H.A. (2014). *Statutory Regulation*. Surabaya: Departement of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering Faculty of Marine Technology Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- Map jatim. (2012, 11 28). *Revitalisasi Pelabuhan Panjung Perak*. Retrieved Desember 10, 2016, from mappijatim.or.id: <http://www.mappijatim.or.id/ragam-berita/revitalisasi-pelabuhan-tanjung-perak-telan-rp-6935-miliar.html>
- Meinanda, Trifajar. (2015). *Desain LNG Carrier untuk Suplai Gas ke PLTGU Pesanggaran di Bali*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Ngurah Agastana, I.B. (2016). *Conceptual Design of LNG Bunkering Shuttle in Surabaya West Access Channel (SWAC)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

- Pelni. ( 2014, 04 06). *Penghematan dari Penggunaan LNG Pada Kapal*. Retrieved Oktober 21, 2016, from dunia-energi.com: <http://www.dunia-energi.com/pelni-lirik-penghematan-dari-penggunaan-lng-pada-kapal/>
- Pertamina. ( 2016, 05 23). *LNG Bahan Bakar Alternatif untuk Transfortasi Laut*. Retrieved Nopember 10, 2016, from pertamina.com: <http://www.pertamina.com/news-room/seputar-energi/lng-bahan-bakar-alternatif-untuk-transportasi-laut/>
- Saputro, G. (2015). *Kajian Teknis dan Ekonomis Sistem Bunkering LNG untuk Bahan Bakar di Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Wartsila. (2016). *Wartsila*. Retrieved from Wartsila: <http://www.wartsila.com>
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design* (Vol. 1). (R. Bhattacharyya, Ed.) Oxford: Elsevier.

**LAMPIRAN A**  
**PERHITUNGAN TEKNIS**

## PERHITUNGAN HAMBATAN

### Input Data

Lo =	52	m	Cb =	0,705	LCB =	0,061 m dari amidship
Bo =	14,8	m	Cm =	0,986	Lwl =	54,080 m
Ho =	6,2	m	Cwp =	0,795	Fn =	0,223
To =	3,5	m	Cp =	0,7146	Vs =	5,144 m/s

PNA Vol. II hlm.91

Cstern	Used for
-25	Parm with gondola
-10	Afterbody with V sections
0	Normal Shape of Afterbody
10	Afterbody with U sections and Honger Stern

--> yang digunakan

### Perhitungan

#### => Viscous Resistance

- Cfo (Friction Coefficient - ITTC 1957)

$$v = \frac{\mu}{r} = 1.188 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (for salt water)}$$

(kinematic viscosity)  $r$

$$Rn = \frac{Lwl \cdot Vs}{v} \quad \text{---> Practical Ship Design hlm.168}$$

(Reynold Number)  $v$

$$= \frac{234103491,513}{(\log Rn - 2)^2}$$

$$Cfo = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2} \quad \text{---> Practical Ship Design hlm.157}$$

$$= 0,00185$$

- Harga (1+k<sub>1</sub>) ---> PNA Vol II hlm. 91

$$c = 1 + 0.011 Cstren$$

$$= 1,000$$

$$\frac{L_R}{L} = 1 - C_p + \frac{0.06 C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)}$$

$$= 0,287$$

$$\frac{Lwl^3}{\nabla} = 80,138$$

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.4871c \left( \frac{B}{Lwl} \right)^{1.0681} \left( \frac{T}{Lwl} \right)^{0.4611} \left( \frac{Lwl}{L_R} \right)^{0.1216} \left( \frac{Lwl^3}{\nabla} \right)^{0.3649} (1 - C_p)^{-0.6042}$$

$$= 1,355$$

- Wetted Surface Area ---> PNA Vol II hlm. 91

$$A_{BT} = 0,000 \quad \text{---> tanpa bulb}$$

(luas Bulb di depan FP)

$$S = L(2T + B)C_M^{0.5} \left( 0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 \frac{B}{T} + 0.3696 C_{WP} \right) + 2.38 \frac{A_{BT}}{C_R}$$

$$= 891,538 \text{ m}^2$$

- Viscous Resistance

$$R_V = \frac{1}{2} \rho \cdot Vs^2 C_{F0} (1 + k_1) S \quad \text{---> PNA Vol II hlm. 90}$$

## => Resistance of Appendages

### • S total

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,000 & \text{---> faktor tipe kapal (umum)} \\ C_2 &= 1,000 & \text{---> faktor tipe kemudi (umum)} \\ C_3 &= 1,000 & \text{---> faktor tipe profil kemudi (NACA)} \\ C_4 &= 1,000 & \text{---> faktor letak baling-baling} \end{aligned}$$

$$S_{\text{rudder}} = 2 C_1 C_2 C_3 C_4 \frac{1.75 \cdot L \cdot T}{100} \text{ ---> BKI Vol II hlm 14-2}$$

$$= 6,370$$

$$\begin{aligned} L_{\text{keel}} &= 0.6 \cdot C_b \cdot L_{wl} & H_{\text{keel}} &= 0.18 / (C_b - 0.2) \\ &= 22,861 & &= 0,357 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{Bilge Keel}} &= 4 \cdot L_{\text{keel}} \cdot H_{\text{keel}} \\ &= 32,624 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{app}} &= S_{\text{rudder}} + S_{\text{bilge Keel}} \\ &= 38,994 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{tot}} &= S + S_{\text{app}} \\ &= 930,532 \end{aligned}$$

### • Harga (1 + k<sub>2</sub>) ---> PNA Vol II hlm. 92

Type of appendages	Value of 1+k <sub>2</sub>
<i>Rudder of single-screw ship</i>	1.3 to 1.5
<i>Spade-type rudders of twin-screw ship</i>	2,8
<i>Skeg-rudders of twin-screw ship</i>	1.5 to 2.0
<i>Shaft Brackets</i>	3,0
<i>Bossings</i>	2,0
<i>Bilge Keel</i>	1,4
<i>Stabilizer Fins</i>	2,8
<i>Shafts</i>	2,0
<i>Sonar Dome</i>	2,7

$$\text{---> } (1+k_2) = 1,4$$

$$\begin{aligned} (1 + k_2)_{\text{effective}} &= \frac{\sum S_i (1 + k_2)_i}{\sum S_i} \\ &= 1,400 \end{aligned}$$

### • Harga (1 + k)

$$\begin{aligned} 1 + k &= (1 + k_1) + [(1 + k_2) - (1 + k_1)] \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}} \\ &= 1,357 \end{aligned}$$

### • Resistance of Appendages

$$\begin{aligned} R_v &= \frac{1}{2} \rho \cdot V_s^2 C_{F0} S_{\text{tot}} (1 + k) \\ &= 31,646 \text{ kN} \end{aligned}$$

## => Wave Making Resistance

### • Harga C<sub>1</sub> dan C<sub>4</sub> ---> PNA Vol II hlm. 92

saat even keel -->  $T_a = T_f = T$

$$i_E = 125.67 \frac{B}{L} - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551 \left( LCB + \frac{6.8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

$$27.2470$$

$$27.2470$$

$$\begin{aligned}
B/L &= 0,274 \\
C_4 &= B/L \quad \text{---> for } 0.11 < B/L < 0.25 \\
&= 0,274 \\
C_1 &= 2223105 C_4^{3.7861} \left(\frac{T}{B}\right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757} \\
&= 14,745
\end{aligned}$$

- Harga  $C_2$  ---> PNA Vol II hlm. 92

$$C_2 = 1,000 \quad \text{---> tanpa Bulb}$$

- Harga  $C_3$  ---> PNA Vol II hlm. 93

$$\begin{aligned}
C_3 &= 1 - 0.8 A_T (B.T.C_M) \quad \text{---> } A_T = 0 \text{ (luas transom saat kecepatan 0,} \\
&= 1,000 \quad \text{saat } V=0 \text{ transom tidak tercelup air)}
\end{aligned}$$

- Harga  $C_5$  dan  $m_1$  ---> PNA Vol II hlm. 92

$$\begin{aligned}
C_5 &= 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3 \text{ untuk } C_p < 0.8 \\
&= 1,241 \\
m_1 &= 0.01404 \frac{L}{T} - \frac{1.7525 V^{\frac{1}{3}}}{L} - 4.7932 \frac{B}{L} - C_5 \\
&= -2,742
\end{aligned}$$

- Harga  $C_6$  dan  $m_2$  ---> PNA Vol II hlm. 92

$$\begin{aligned}
C_6 &= -1,69385 \rightarrow \text{untuk } \frac{L^3}{V} \\
m_2 &= C_6 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \\
&= -0,00607
\end{aligned}$$

- Harga  $\lambda$  ---> PNA Vol II hlm. 92

$$\begin{aligned}
L/B &= 3,654 \\
\lambda &= 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad \text{---> untuk } L/B < 12 \\
&= 0,924
\end{aligned}$$

- Harga  $R_w/W$  ---> PNA Vol II hlm. 92

$$\begin{aligned}
d &= -0,900 \\
\frac{R_w}{W} &= C_1 C_2 C_3 e^{m_1 F_n^d} + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2}) \\
&= 0,00037637
\end{aligned}$$

- $C_A$  (Correlation Allowance)

$$\begin{aligned}
Tf/Lwl &= 0,0647 \\
C_A &= 0.006 (Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 \text{---> untuk } Tf/Lwl > 0.04 \\
&= 0,000630
\end{aligned}$$

- w (Gaya Berat)

$$\begin{aligned}
w &= \Delta \cdot g \\
&= 19845,531 \quad \text{kN} \quad 13,5611272 \\
& \quad 13561,1272
\end{aligned}$$

- $R_w = \frac{R_w}{W} \times W$

$$= 7,469253697 \quad \text{kN}$$

=> **Total of Resistance**

$$\begin{aligned}
R_{total} &= 1/2 \rho V_s^2 S_{tot} [C_F (1 + k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W \quad 0,003 \\
&= 67,06318668 \quad \text{kN} \\
&= 67063,18668 \quad \text{N}
\end{aligned}$$

- $R_{total} + 15\%$  (margin)

$$= 77,123 \quad \text{kN}$$

## Perhitungan Propulsi dan Daya Mesin Induk

### Input Data

$V_s = 5,144$ m/s	$D = 0.65$ T (diameter propeller)	$1 + k = 1,357$
$R_T = 77,12266$ kN	$= 2,275$ 1,138	$C_F = 0,002$
$n$ (rpm) = 750 (propeller)	$Z = 4$ (jumlah daun propeller)	$C_A = 0,00063$
$n$ (rps) = 12,5	$AE/AO = 0,4$ (expanded area ratio, 0.4;0.55;0.7;0.85;1)	
$\rho = 1,025$ ton/m <sup>3</sup>	$P/D = 1,4$ (pitch ratio, 0.5 - 1.4)	
$C_b = 0,705$	$R_n \text{ prop.} = 234103491,513$	
	$F_n = 0,22333$	

### Perhitungan

#### => Viscous Resistance Coefficient

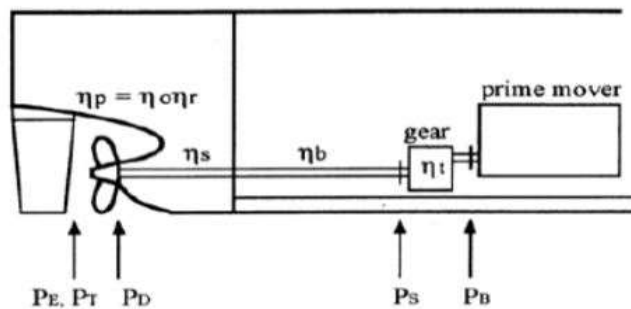
- $C_v = (1 + k) \cdot C_F + C_A \rightarrow \text{PNA Vol II hlm. 162}$   
 $= 0,00313763$

#### => Wave Friction ( $\omega$ )

- $\omega = 0.3 \cdot C_b + 10 \cdot C_v \cdot C_b - 0.1 \rightarrow \text{PNA Vol II hlm. 163}$   
 $= 0,13346664$

#### => Speed of Advance ( $V_A$ )

- $(1 - \omega) = V_A / V_s \quad \text{PNA Vol II hlm. 155}$   
 $V_A = (1 - \omega) V_s$   
 $= 4,45744758$  m/s



#### => Effective Horse Power (EHP)

- $PE = R_T \cdot V_s \quad \text{PNA Vol II hlm. 153}$   
 $= 396,718987$  kW

#### => Thrust Horse Power (THP)

- $t = 0,1 \quad \text{PNA Vol II hlm. 163}$   
 $PT = PE \frac{(1 - \omega)}{(1 - t)}$   
 $= 381,966928$  kW

=> **Propulsive Efficiency**

- $\eta_0 = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$  ---> *Open Water Test Propeller Efficiency*  
= 0,55
- $\eta_H = \frac{(1 - t)}{(1 - \omega)}$  ---> *Hull Efficiency*  
= 1,0386213
- $\eta_R = 0,98$  *PNA Vol II hlm. 163*  
(Rotative Efficiency)
- $\eta_D = \eta_0 \eta_H \eta_R$  ---> *PNA Vol II hlm. 153*  
= 0,55981688

=> **Delivered Horse Power (DHP)**

- $PD = PE / \eta_D$  -> *Practical Ship Design hlm. 155*  
= 708,658493 kW

=> **Shaft Horse Power (SHP)**

- $\eta_s \eta_b = 0,98$  --> *Efisiensi Poros untuk Mesin dibelakang*
- $PS = PD / \eta_s \eta_b$  ---> *Parametric Design hlm. 29*  
= 723,120912 kW

=> **Break Horse Power (BHP)**

- $\eta_t = 0,975$  ---> *Reduction Gear Efficiency*
- $P_{B0} = PS / \eta_t$   
= 741,662474 kW

=> **Koreksi MCR**

- $PB = 115\% P_{B0}$   
= 852,911845 kW



## PENENTUAN MESIN INDUK DAN GENSET

### PEMILIHAN MESIN INDUK

=> MCR Mesin

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= 852.9118446 \text{ kW} \\ &= 1159,618944 \text{ HP} \end{aligned}$$

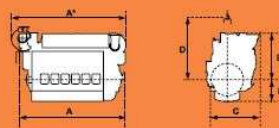
MAN & BW Catalog Engine

### MAIN TECHNICAL DATA

Wärtsilä 20DF			IMO Tier III
Cylinder bore	200 mm	Fuel specification: Fuel oil	
Piston stroke	260 mm	700 cSt/50°C	7200 st/11/100°F
Cylinder output	185 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB	
Speed	1200 rpm		
Mean effective pressure	21.0 bar	BSEC 7700 kJ/kWh at ISO cond.	
Piston speed	11.2 m/s		

Rated power		kW
Engine type		
6L20DF		1 110
8L20DF		1 480
9L20DF		1 665

Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)							
Engine type	A*	A	B	C	D	F	Weight
6L20DF	3 254	3 108	1 705	1 690	1 800	624	9.4
8L20DF	3 973	3 783	1 705	1 624	1 800	624	11.1
9L20DF	4 261	4 076	1 705	1 624	1 800	624	11.7



=> Data Mesin

Tipe Mesin = Wärtsilä 20DF

Daya = 1110 kW

rpm = 1200

L = 3254 mm

W = 1690 mm

H = 1800 mm

Dry Weight = 9,400 ton

=> Konsumsi Fuel Oil

= 0,8 g/kWh

= 0,6 g/BHP

=> Konsumsi Fuel Oil

= 185 g/kWh

= 134 g/BHP

Konsumsi Fuel Oil

= 5,40 g/kWh

= 3,97 g/BHP

Konsumsi

= 9090 kJ/kWh

= 0,001747 ton/kWh

Konsumsi Lubricating Oil

= 0,5 g/kWh

### PEMILIHAN GENSET

Daya = 25% BHP

= 213,2279611 kW

=> Data Gensets

Tipe Genset C18

Daya = 225 kW

rpm = 1000

LG = 2787 mm

W = 1200 mm

H = 1960 mm

Dry Weight = 6.2 ton

Generating Sets						
A16 – Dimensions (mm) and weights (tonnes)						
50 Hz	Output (kW)	A	F	L	Weight	
225WLS 16	225	2787	1200	1960	6.2	
545WVL 16	545	4787	1400	1960	10.8	
635WVL 16	635	5050	1400	1960	11.8	

Fuel Oil = 200 g/kWh  
= 0,6 g/kWh

## PERHITUNGAN BERAT MESIN

### Input Data

$D = 2,275 \text{ m}$                        $P_D = 708,658 \text{ kW}$   
 $n \text{ (rpm)} = 1200 \text{ (mesin)}$                $P_B = 852,912 \text{ kW}$   
 $Z = 4 \text{ buah}$   
 $AE/AO = 0,4$

### Perhitungan

=> **Main Engine**

- $W_E = 9,4 \text{ ton}$

=> **Propulsin Unit**                      ---> *Ship Design for Efficiency and Economy hlm. 175)*

- Gear Box

$$W_{\text{GEAR}} = 0,34 - 0,4 \frac{P_B}{n}$$

$$= 0,284 \text{ ton}$$

- Shafting

(panjang poros)  $I = 5 + 2 \text{ (untuk gangway)}$

$$= 6 \text{ m}$$

$$\left(\frac{M}{I}\right) = 0,081 \left(\frac{P_D}{n}\right)^{2/3}$$

$$= 0,057$$

(berat poros)  $M = \left(\frac{M}{I}\right) \cdot I$

$$= 0,3420898$$

- Propeller

(diameter poros)  $d = 11,5 \left(\frac{P_D}{n}\right)^{1/3}$                       ---> *Untuk material dengan tensile strength 700 N/mm<sup>2</sup>*

$$= 9,648 \text{ cm}$$

$$= 0,096 \text{ m}$$

=> **Other Weight**                      ---> *Ship Design for Efficiency and Economy hlm. 177)*

- $W_{OW} = \left(\frac{P_D}{P_B}\right) \cdot \left(\frac{0,05}{\lambda_{DB}}\right) \cdot \left(\frac{P_B}{\lambda_{DB}}\right) \cdot \left(\frac{P_B}{\lambda_{DB}}\right)$                       ---> *z=2,1100 diambil 0.05*

$$= 0,011834$$

=> **Total Weight**  $W_{Tprop} = D^3 \cdot K$

$$= 0,1340344 \text{ ton}$$

- $W_{\text{Total}} = W_E + W_{T,Prop} + W_{\text{Agg}} + W_{OW}$

- Total = 75,784 ton

$$W_{T,prop} = W_{\text{gear}} + M + W_{\text{Prop}}$$

$$= 0,760$$

=> **Titik Berat Permesinan**

=> **Electrical Unit**                       $\frac{(350 + 45P_B)}{1000}$                       ---> *Ship Design for Efficiency and Economy hlm. 176*

- $W_{\text{Agg}} = 0,001 \cdot P_{\text{Agg}} (0,35 + 0,014P_B)$

$$= 22,978098 \text{ ton}$$

$$= 1,1 \text{ m}$$

- $KG_m = h_{db} + 0,35(H - h_{db})$                       ---> *Parametric Design 11-29*

$$= 2,885 \text{ m}$$

- $lcb = 5\% L_{pp}$                       (panjang ceruk buritan)

$$= 4,16 \text{ m}$$

- $LCG_{FP} = L_{WL} - lcb - 5$

$$= 44,92 \text{ m di depan FP}$$

- $LCG_M = 17,88 \text{ m di belakang amidship}$

## PERHITUNGAN BERAT BAJA

### Input Data

Lo = 52,000 m  
Bo = 14,800 m  
Ho = 6,200 m  
To = 3,500 m

### Perhitungan

=> **Volume Superstructure** ---> *Schneekluth method*

- Volume Forecastle

Panjang ( $L_f$ ) = 10% Lpp  
= 5,200 m  
Lebar ( $B_f$ ) = selebar kapal  
= 14,800 m  
Tinggi ( $T_f$ ) = asumsi 2.4 m  
= 2,400 m  
 $V_{\text{Forecastle}} = 0.5 \cdot L_f \cdot B_f \cdot T_f$   
= 92,352 m<sup>3</sup>

- Volume Poop

Panjang ( $L_p$ ) = 25% Lpp  
= 14,500 m  
Lebar ( $B_p$ ) = selebar kapal  
= 14,800 m  
Tinggi ( $T_p$ ) = asumsi 2.4 m  
= 2,400 m  
 $V_{\text{Poop}} = L_p \cdot B_p \cdot T_p$   
= 515,040 m<sup>3</sup>

- Volume Total

$V_A = V_{\text{Forecastle}} + V_{\text{Poop}}$   
= 607,392 m<sup>3</sup>

=> **Volume Deckhouse**

- Volume Layer II

Panjang ( $L_2$ ) = 15% Lpp  
= 12,000  
Lebar ( $B_2$ ) =  $B - 2$  untuk gangway  
= 12,800  
Tinggi ( $T_2$ ) = asumsi 2.4 m  
= 2,400 m  
 $V_{L2} = L_2 \cdot B_2 \cdot T_2$   
= 368,640 m<sup>3</sup>

- Volume Layer IV

Panjang ( $L_4$ ) = 7.5% Lpp  
= 7,200  
Lebar ( $B_4$ ) =  $B_3 - 2$  untuk gangway  
= 8,800  
Tinggi ( $T_4$ ) = asumsi 2.4 m  
= 2,400 m  
 $V_{L4} = L_4 \cdot B_4 \cdot T_4$   
= 152,064 m<sup>3</sup>

- Volume Layer III

Panjang ( $L_3$ ) = 10% Lpp  
= 9,600  
Lebar ( $B_3$ ) =  $B_2 - 2$  untuk gangway  
= 10,800  
Tinggi ( $T_3$ ) = asumsi 2.4 m  
= 2,400 m  
 $V_{L3} = L_3 \cdot B_3 \cdot T_3$   
= 248,832 m<sup>3</sup>

- Volume Wheel House

Panjang ( $L_{WH}$ ) = 5% Lpp  
= 4,800  
Lebar ( $B_{WH}$ ) =  $B_4 - 2$  untuk gangway  
= 6,800  
Tinggi ( $T_{WH}$ ) = asumsi 2.4 m  
= 2,400 m  
 $V_{WH} = L_{WH} \cdot B_{WH} \cdot T_{WH}$   
= 78,336 m<sup>3</sup>

- Volume Total

$$\begin{aligned} V_{DH} &= V_{L2} + V_{L3} + V_{L4} + V_{WH} \\ &= 847,872 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

=> **Berat Baja**

*Ship Design for Efficiency and Economy hlm. 154*

No	Type kapal	C <sub>SO</sub>
1	Bulk carriers	0,070
2	Cargo ship (1 deck)	0,070
3	Cargo ship (2 decks)	0,076
4	Cargo ship (3 decks)	0,082
5	Passenger ship	0,058
6	Product carriers	0,066
7	Reefers	0,061
8	Rescue vessel	0,023
9	Support vessels	0,097
10	Tanker	0,075
11	Train ferries	0,650
12	Tugs	0,089
13	VLCC	0,065

---> yang digunakan

- $$D_A = H + \frac{(V_A + V_{DH})}{Lpp. B} \quad \text{---> modified depth}$$

$$= 8,091 \text{ m}$$

- $$C_{SO} = 0,075 \text{ t/m}^3$$

- $$\Delta = 2022,990 \text{ ton}$$

- $$u = \log\left(\frac{\Delta}{100}\right)$$

$$= 1,306$$

- $$C_S = C_{SO} + 0.06 \cdot e^{-(0.5u + 0.1u^{2.45})}$$

$$= 0,134$$

- $$W_{ST} = Lpp.B.D_A.C_S + \text{Berat Tanki LNG}$$

$$= 832,925 \text{ ton}$$

## Titik Berat Baja

### Input Data

$$\begin{aligned}
 L_{pp} &= 52,000 \text{ m} & V_A &= 607,392 \text{ m}^3 \\
 B &= 14,800 \text{ m} & V_{DH} &= 847,872 \text{ m}^3 \\
 H &= 6,200 \text{ m} & D_A &= 8,091 \text{ m} \\
 LCB \% &= 0,112 \%
 \end{aligned}$$

### Perhitungan

=> **KG** --> *Ship Design for Efficiency and Economy hlm. 150*

Koefisien titik berat	
Type kapal	$C_{KG}$
Passanger ship	0.67 – 0.72
Large cargo ship	0.58 – 0.64
Small cargo ship	0.60 – 0.80
Bulk carrier	0.55 – 0.58
Tankers	0.52 – 0.54

'---> diambil 0.61

- $$\begin{aligned}
 C_{KG} &= 0,540 \\
 KG &= C_{KG} \cdot D_A \\
 &= 4,369 \text{ m}
 \end{aligned}$$

=> **LCG dari Midship**

- $$\begin{aligned}
 LCG \% &= (-0.15 + LCB\%) \% L_{pp} \\
 &= -0,038 \% L_{pp} \\
 LCG_M &= -0,020 \text{ m}
 \end{aligned}$$

=> **LCG dari FP**

- $$\begin{aligned}
 LCG_{FP} &= 0.5L_{pp} + LCG_M \\
 &= 25,980 \text{ m}
 \end{aligned}$$

=> **LCG dari AP**

- $$\begin{aligned}
 LCG_{AP} &= L_{pp} - LCG_{FP} \\
 &= 26,020 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**put Data :**

L =	52,000	m	Vs =	5,144	m/s	=	10	knot
B =	14,800	m	P <sub>B</sub> =	852,9118	kW			
H =	6,200	m		1160	HP			
T =	3,500	m						

**erhitungan :**

**Consumable :**

• Crew = 18 orang

• Crew Weight

C<sub>C&E</sub> = 0,075 ton/person  
W<sub>C&E</sub> = 1,350 ton

• Fuel Oil (LNG)

SFR = 0,001747 ton/kWh ; dari katalog mesin rho LNG = 0,45 ton/m3  
MCR = 852,9118 kW  
Margin = 0,1 [1+(5% ~ 10%)].WFO  
W<sub>FO</sub> = SFR \* MCR \* S/Vs\*margin  
= 5,950 ton  
V<sub>FO</sub> = 13,751 m3 Vfo = (Wfo + 4%.Wfo)/T

• Fuel Oil (MDO)

SFR = 0,000005 ton/kWh ; dari katalog mesin SFR = 198 g/kWh MCR = 852,9118  
MCR = 852,9118 kW = 0,000198 ton/kWh Density = 0,89  
Margin = 0,1 [1+(5% ~ 10%)].WFO Margin = 0,1  
W<sub>FO</sub> = SFR \* MCR \* S/Vs\*margin W = 2,93 ton  
= 0,018 ton V = 3,42 m3  
V<sub>FO</sub> = 0,021 m3 Vfo = (Wfo + 4%.Wfo)/T  
Wfo total = 2,944 ton  
Vfo total = 3,44

• Diesel Oil

SFR = 0,0002 ton/kWh MCR = 225 kW  
W<sub>DO</sub> = 0,180 ton  
V<sub>DO</sub> = 0,216 m3 Vdo = (Wdo + 2%.Wdo)/T

• Lubrication Oil

W<sub>LO</sub> = 0,002 ton SFR = 0,0000005 ton/kWh  
V<sub>LO</sub> = 0,002 m3 MCR = 852,91184 kW Vlo = (Wlo + 4%.Wlo)/T  
Margin = 0,1 T = 0.9

• Fresh Water

range = 36,3 mil laut Pendingin Mesin  
Vs = 10 knot Cfw = 0,005 ton/BHP  
day = 0,151 = 3,63 jam Wfw = 5,798095 ton  
W<sub>FW</sub> = 0,18 ton/(person.day) Vfw = 5,914057 m3  
= 0,490 ton Wfw total = 6,414 ton ; koreksi 2%  
p<sub>FW</sub> = 1 ton/m3  
V<sub>FW</sub> = 0,500 m3 Vfw total = 6,414 m3

• Provision and Store

W<sub>PR</sub> = 0,01 ton/(person.day)  
= 0,027 ton

Wconsumable = 16,867 ton

### Perhitungan Titik Berat Consumable

			Input Data		
LPP =	52	m	Lkm =	$5 + L_{MI} + 1 + L_{genset} =$	12,6 m
LWL=	54,080	m	Lcb =	4x jarak gading =	4,800 m
B =	14,800	m	Lch =	8% LPP =	4,000 m
H =	6,2	m	Lcf =	2 a =	1,2 m
T =	3,500	m	Lfo =	3 a =	1,8 m
W <sub>FW</sub> =	0,490	ton	<b>Keterangan;</b>		
W <sub>LO</sub> =	0,002	ton	Lkm =	Panjang Kamar Mesin	
W <sub>DO</sub> =	0,180	ton	Lcb =	Panjang Ceruk Buritan	
W <sub>FO</sub> =	2,944	ton	Lch =	Panjang Ceruk Haluan	
H <sub>db</sub> =	1,100	m	Lcf =	Panjang Cofferdam	
W Lng=	5,95	ton	Lfo =	Panjang Tangki Fuel Oil	
<b>Dimensi Ruang Akomodasi</b>					
Lrm =		$Lpp - (Lcb + Lch + Lkm) = 30,600 \text{ m}$			
<b>Poop Deck</b>			<b>Main Deck</b>		
Lp =		20% .L =	14,500 m	Lm = 15% . L = 12,000 m	
Asumsi ;		Hp=	2,4 m	Hm = 2,4 m	
<b>Bridge Deck</b>			<b>Boat Deck</b>		
Lbd =		7.5% . L =	7,200 m	Lb = 10% . L = 9,600 m	
Asumsi ;		Hbd =	2,4 m	Hb = 2,4 m	
<b>Berat Crew per Layer</b>					
W <sub>C&amp;E poop</sub> =		1,36 ton	; Parametric Ship Design chapter 11 hal. 25		
W <sub>C&amp;E main</sub> =		1,02 ton			
W <sub>C&amp;E boat</sub> =		0,17 ton			
W <sub>C&amp;E bridge</sub> =		0,51 ton			
Total W <sub>C&amp;E</sub> =		3,06 ton			

### Titik Berat Crew

#### KG

$$\begin{aligned} KG_{Poop} &= H + 0.5 \cdot h_{poop} = 7,4 \text{ m} & KG_{Boat} &= H + h_{poop} + h_{main} + 0.5 \cdot h_{boat} = 12,2 \text{ m} \\ KG_{Main} &= H + h_{poop} + 0.5 \cdot h_{main} = 9,8 \text{ m} & KG_{Bridge} &= H + h_{poop} + h_{main} + h_{boat} + 0.5 \cdot h_{bridge} = 14,6 \text{ m} \end{aligned}$$

#### LCG

$$\begin{aligned} LCG_{Poop} &= Lrm + Lch + 0.5 \cdot L_{poop} = 37,850 \text{ m} & LCG_{Boat} &= Lrm + Lch + 0.5 \cdot L_{boat} = 35,400 \text{ m} \\ LCG_{Main} &= Lrm + Lch + 0.5 \cdot L_{main} = 36,600 \text{ m} & LCG_{Bridge} &= Lrm + Lch + 0.5 \cdot L_{bridge} = 34,200 \text{ m} \end{aligned}$$

### Titik Berat C&E Total

$$\begin{aligned} KG &= \frac{W_{poop} \cdot KG_{poop} + W_{main} \cdot KG_{main} + W_{boat} \cdot KG_{boat} + W_{bridge} \cdot KG_{bridge}}{W_{poop} + W_{main} + W_{boat} + W_{bridge}} = 9,667 \text{ m} \\ LCG_{FP} &= \frac{W_{poop} \cdot LCG_{poop} + W_{main} \cdot LCG_{main} + W_{boat} \cdot LCG_{boat} + W_{bridge} \cdot LCG_{bridge}}{W_{poop} + W_{main} + W_{boat} + W_{bridge}} = 30,989 \text{ m} \end{aligned}$$

### Titik Berat Fresh Water

#### Dimensi Tangki

$$\begin{aligned} T_{fw} &= H - T = 2,700 \text{ m} \\ B_{fw} &= 80\% B = 12,580 \text{ m} \\ V_{fw} &= (W_{fw} + 2\% W_{fw}) / \eta_{air} = 0,499851 \text{ m}^3 \\ L_{fw} &= V_{fw} / (T_{fw} \cdot B_{fw}) = 0,0147 \text{ m} \end{aligned}$$

; Parametric Ship Design chapter 11 hal. 25

#### Titik Berat

$$\begin{aligned} KG_{fw} &= T + 0.5 T_{fw} = 4,850 \text{ m} \\ LCG_{fw} &= Lpp + 0.5 \cdot L_{fw} = 49,273 \text{ m} \end{aligned}$$

### Titik Berat Fuel Oil

#### Dimensi Tangki

$$\begin{aligned} T_{fo} &= V_{fo} / (B_{fo} \cdot L_{fo}) = 1,100 \text{ m} \\ B_{fo} &= 65\% B = 9,620 \text{ m} \\ V_{fo} &= (W_{fo} + 2\% W_{fo}) / \eta_{fo} = 3,161 \text{ m}^3 \\ L_{fo} &= 0,299 \text{ m} \end{aligned}$$

; Parametric Ship Design chapter 11 hal. 25

#### Titik Berat

$$\begin{aligned} KG_{fo} &= H_{db} + 0.5 \cdot T_{fo} = 1,650 \text{ m} \\ LCG_{fo} &= Lrm + Lch + Lcf + 0.5 \cdot L_{fo} = 35,949 \text{ m} \end{aligned}$$

ACUAN TITIK LCG dari FP

**Titik Berat Lubrication Oil****Dimensi Tangki**

$$\begin{aligned}
 T_{lo} &= H_{db} = 1,100 \text{ m} \\
 B_{lo} &= 65\% B = 9,620 \text{ m} \\
 V_{lo} &= (W_{lo} + 2\% W_{lo}) / \eta_{lo} = 0,002 \text{ m}^3 \\
 L_{lo} &= V_{lo} / (T_{lo} \cdot B_{lo}) = 0,000182 \text{ m}
 \end{aligned}$$

*; Parametric Ship Design chapter 11 hal. 25*

**Titik Berat**

$$\begin{aligned}
 KG_{lo} &= 1/2 T_{lo} = 0,55 \text{ m} \\
 LCG_{lo} &= L_{rm} + L_{ch} + L_{cf} + L_{do} + 0,5 L_{lo} = 35,820 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Titik Berat Tangki Bahan Bakar LNG****Dimensi Tangki**

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Tangki} &= 5,08 \text{ m} \\
 \text{Deameter Tangki} &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Titik Berat**

$$\begin{aligned}
 KG_{lo} &= 7,2 \text{ m} \\
 LCG_{lo} &= 33,19 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Titik Berat Consumable Total**

$$\begin{aligned}
 KG &= \frac{W_{C\&E} \cdot KG_{C\&E} + W_{FW} \cdot KG_{FW} + W_{LO} \cdot KG_{LO} + W_{DO} \cdot KG_{DO} + W_{FO} \cdot KG_{FO} + W_{Ing. KG Ing}}{W_{C\&E} + W_{FW} + W_{LO} + W_{DO} + W_{FO} + W_{Ing}} = 6,317 \text{ m} \\
 LCG_{FP} &= \frac{W_{C\&E} \cdot LCG_{C\&E} + W_{FW} \cdot LCG_{FW} + W_{LO} \cdot LCG_{LO} + W_{DO} \cdot LCG_{DO} + W_{FO} \cdot LCG_{FO}}{W_{C\&E} + W_{FW} + W_{LO} + W_{DO} + W_{FO}} = 34,650 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**CUAN TITIK LCG dari F****Titik Berat Diesel Oil****Dimensi Tangki**

$$\begin{aligned}
 T_{do} &= H_{db} = 1,100 \text{ m} \\
 B_{do} &= 65\% B = 9,620 \text{ m} \\
 V_{do} &= (W_{do} + 2\% W_{do}) / \eta_{do} = 0,216 \text{ m}^3 \\
 L_{do} &= V_{do} / (T_{do} \cdot B_{do}) = 0,020 \text{ m}
 \end{aligned}$$

*; Parametric Ship Design chapter 11 hal. 25*

**Titik Berat**

$$\begin{aligned}
 KG_{do} &= 1/2 T_{do} = 0,550 \text{ m} \\
 LCG_{do} &= L_{rm} + L_{ch} + L_{cf} + 0,5 L_{do} = 35,810 \text{ m}
 \end{aligned}$$



## Perhitungan Titik Berat Equipment dan Outfitting Kapal

### Input Data

$$\begin{aligned} L_{pp} &= 52,000 \text{ m} \\ B &= 14,800 \text{ m} \\ H &= 6,200 \text{ m} \end{aligned}$$

### PERHITUNGAN

#### GROUP I ----> *hatchway cover*

$$\begin{aligned} d &= 7,52 \text{ m} && (\text{lebar hatch cover}) \\ I &= 9,0375 \text{ m} && (\text{panjang hatch cover}) \\ n &= 4 && (\text{jumlah hatch cover}) \\ W_{I/l} &= 0.0533 \cdot d^{1.53} \\ &= 1,1677248 \text{ ton/m} \\ W_I &= n \cdot W_{I/l} \cdot I \\ &= 4,6708992 \text{ ton} \\ \text{Jumlah Hatch cover} &= 0 \\ W &= 0 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### GROUP II ---->

Max. load	Weight [ ton ] at max. working radius			
	15 m	20 m	25 m	30 m
0.5	6	22	26	-
15	24	28	34	-
20	-	32	38	45
25	-	38	44	54
30	-	42	48	57
35	-	46	52	63

$$\begin{aligned} \text{Jumlah crane} &= 1 \\ W_{II} &= 6 \end{aligned}$$

#### GROUP III ----> *living quarter / accomodation*

##### The specific volumetric and unit area weights are:

For small and medium sized cargo ship : 60 – 170 kg/m<sup>2</sup>

For large cargo ships, large tanker, etc : 80 – 200 kg/m<sup>2</sup>

For medium Cargo Ship : 165 kg/m<sup>2</sup>

; Ship Design for Efficiency and  
Economy page 172

#### Poop Deck

$$\begin{aligned} L_{\text{poop}} &= 14,500 \text{ m} \\ B_{\text{poop}} &= 14,800 \text{ m} \\ A_{\text{poop}} &= 214,600 \text{ m}^2 \\ W_{\text{poop}} &= 35,409 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Layer II

$$\begin{aligned} L_{\text{DH II}} &= 12,000 \text{ m} \\ B_{\text{DH II}} &= 12,800 \text{ m} \\ A_{\text{DH II}} &= 153,600 \text{ m}^2 \\ W_{\text{DH II}} &= 25,344 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$W_{\text{poop}} = 35,409 \text{ ton} \quad W_{\text{DH II}} = 25,344 \text{ ton}$$

#### Layer III

$$\begin{aligned} L_{\text{DH III}} &= 9,600 \text{ m} \\ B_{\text{DH III}} &= 10,800 \text{ m} \\ A_{\text{DH III}} &= 103,680 \text{ m}^2 \\ W_{\text{DH III}} &= 17,107 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Layer IV

$$\begin{aligned} L_{\text{DH IV}} &= 7,200 \text{ m} \\ B_{\text{DH IV}} &= 8,800 \text{ m} \\ A_{\text{DH IV}} &= 63,36 \text{ m}^2 \\ W_{\text{DH IV}} &= 10,454 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Wheel House

$$\begin{aligned} L_{\text{WH}} &= 4,800 \text{ m} \\ B_{\text{WH}} &= 6,800 \text{ m} \\ A_{\text{WH}} &= 32,640 \text{ m}^2 \\ W_{\text{WH}} &= 5,386 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### W Total Group III :

$$\begin{aligned} W_{\text{III}} &= W_{\text{poop}} + W_{\text{DH II}} + W_{\text{DH III}} + W_{\text{DH IV}} + W_{\text{WH}} \\ &= 93,700 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### Grup IV (Miscellaneous)

*Ship Design Efficiency and Economy page 172*

$$\begin{aligned} C &= (0.18 \text{ ton} / \text{m}^2 < C < 0.26 \text{ ton} / \text{m}^2 \\ &= 0.18 [\text{ton}/\text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{IV}} &= (L*B*D)^{2/3} * C \\ &= 51,016 [\text{ton}] \end{aligned}$$

Berat Baja Tangki Bahan bakar LNG

$$= 6,950 \text{ Ton}$$

Berat Baja Tangki LNG Type C

$$= 167,895 \text{ Ton}$$

#### Berat Total Peralatan dan Perlengkapan

$$\begin{aligned} W_{\text{E\&O}} &= W_{\text{Group I}} + W_{\text{Group II}} + W_{\text{Group III}} + W_{\text{Group IV}} \\ &= 325,561 [\text{ton}] \end{aligned}$$

#### Outfit Weight Center Estimation

$$D_A = 8,091 \text{ m}$$

*Ship Design for Efficiency and Economy page 1*

$$\begin{aligned} KG_{\text{E\&O}} &= 1.02 - 1.05 D_A \\ &= 8,374 \text{ m} \end{aligned}$$

#### 1. $LCG_1$ (25% $W_{\text{E\&O}}$ at $LCG_M$ )

*Parametric design chapter 11, p11-25*

**Kamar Mesin**

$$\begin{aligned}
25\% W_{E\&O} &= 81,390 \text{ ton} \\
L_{cb} &= 4,160 \text{ m dari AP} \\
LCG_M \text{ dr FP} &= L_{wl} - L_{cb} - 5 \\
&= 42,840 \text{ m} \\
LCG_M &= 0.5L_{pp} - LCG_m \text{ dr FP} \\
&= -17,880 \text{ m} \\
L_{km} &= 12,600 \text{ m}
\end{aligned}$$

**Layer III**

$$\begin{aligned}
L_{DH \text{ III}} &= 9,600 \text{ m} \\
W_{DH \text{ III}} &= 17,107 \text{ ton} \\
LCG_{II} &= L_{cb} + L_{km} - 0.5L_d - 0.5L_{pp} \\
&= -14,040 \text{ m}
\end{aligned}$$

**Layer II**

$$\begin{aligned}
L_{DH \text{ II}} &= 12,000 \text{ m} \\
W_{DH \text{ II}} &= 25,344 \text{ ton} \\
LCG_I &= -0.5L_{pp} + L_{km} + L_{cb} - 0.5L_d \\
&= -15,240 \text{ m}
\end{aligned}$$

**Layer IV**

$$\begin{aligned}
L_{DH \text{ IV}} &= 7,200 \text{ m} \\
W_{DH \text{ IV}} &= 10,454 \text{ ton} \\
LCG_{III} &= L_{cb} + L_{km} - 0.5L_d - 0.5L_{pp} \\
&= -12,840 \text{ m}
\end{aligned}$$

**Wheelhouse**

$$\begin{aligned}
L_{WH} &= 4,800 \text{ m} \\
W_{WH} &= 5,386 \text{ ton} \\
LCG_{IV} &= L_{cb} + L_{km} - 0.5L_d - 0.5L_{pp} \\
&= -11,640 \text{ m}
\end{aligned}$$

**2.  $LCG_2$  (37,5%  $W_{E\&O}$  at  $LCG_{DH}$ )**

$$\begin{aligned}
37.5\% W_{E\&O} &= 122,08552 \text{ ton} \\
LCG_{dh} &= \frac{W_{dh \text{ II}} \cdot LCG_I + W_{dh \text{ III}} \cdot LCG_{II} + W_{dh \text{ IV}} \cdot LCG_{III} + W_{wh} \cdot LCG_{IV}}{W_{dh \text{ II}} + W_{dh \text{ III}} + W_{dh \text{ IV}} + W_{wh}} \\
&= -14,125 \text{ m}
\end{aligned}$$

**3.  $LCG_3$  (37,5%  $W_{E\&O}$  at midship)**

$$\begin{aligned}
37.5\% W_{E\&O} &= 122,086 \text{ ton} \\
\text{midship} &= 0 \text{ m}
\end{aligned}$$

**4.  $LCG_4$  (Tangki LNG 1500 m3)**

$$\begin{aligned}
W \text{ tangki } 1500 \text{ m}^3 &= 167,895 \text{ ton} \\
\text{midship} &= 7,28 \text{ m}
\end{aligned}$$

**5.  $LCG_3$  (W bahan bakar LNG)**

$$\begin{aligned}
W \text{ tangki} &= 6,950 \text{ ton} \\
\text{midship} &= -14,47 \text{ m}
\end{aligned}$$

**LCG**

$$\begin{aligned}
LCG_{E\&O} &= \frac{25\% \cdot W_{E\&O} \cdot LCG_M + 37.5\% \cdot W_{E\&O} \cdot LCG_{DH} + WT \cdot LCG_t + W_{tb} \cdot LCG_{tb} + 37.5\% \cdot W_{E\&O} \cdot LCG_{midship}}{W_{E\&O}} \\
&= -6,32 \text{ m (di belakang Midship)} \\
LCG_{E\&O} &= 32,32 \text{ m dari FP}
\end{aligned}$$

## Berat dan Titik Berat Total

### => Light Weight Tonnes (LWT)

- Steel Weight

$$\begin{aligned}W_{ST} &= 832,9252647 \text{ ton} \\KG &= 4,369105198 \text{ m} \\LCG_{FP} &= 25,98046985 \text{ m}\end{aligned}$$

- Equipment and Outfitting Weight

$$\begin{aligned}W_{E\&O} &= 325,5613963 \text{ ton} \\KG_{E\&O} &= 8,374118295 \text{ m} \\LCG_{FP} &= 32,32 \text{ m}\end{aligned}$$

- Machinery Weight

$$\begin{aligned}W_M &= 75,78411868 \text{ ton} \\KG_M &= 2,885 \text{ m} \\LCG_{FP} &= 44,92 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Total LWT = 1234,27078 ton**

### => Dead Weight Tonnes (DWT)

- Crew and Consumable Weight

$$\begin{aligned}W_{C\&C} &= 16,86675 \text{ ton} \\KG &= 6,316876 \text{ m} \\LCG_{FP} &= 34,64983 \text{ m}\end{aligned}$$

- Payload

$$\begin{aligned}W_{\text{Payload}} &= 675 \text{ ton} \\KG &= 0.5(H - h_{db}) + h_{db} \\&= 4,423141 \text{ m} \\LCG_{FP} &= (0.5 \cdot L_{RM}) + (0.5 \cdot L_{CF}) + L_{CH} \\&= 20,72 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Total DWT = 691,8667 ton**

### => Total Weight

$$\begin{aligned}W_{\text{total}} &= \text{Total LWT} + \text{Total DWT} \\&= 1926,138 \text{ ton}\end{aligned}$$

### => Koreksi Margin ( 2% - 10%)

- $\Delta = L \times B \times T \times C_b \times \rho$   
= 2022,989895 ton
- $\Delta = \text{Total LWT} + \text{Total DWT} + \text{Margin}$   
Margin =  $\Delta - (\text{Total LWT} + \text{Total DWT})$   
= 96,85236612 ton  
= 5,028 %

### => Titik Berat Total

- $KG = \frac{W_{ST} \cdot KG_{ST} + W_{E\&O} \cdot KG_{E\&O} + W_M \cdot KG_M + W_{\text{cons}} \cdot KG_{\text{cons}} + W_{\text{payload}} \cdot KG_{\text{payload}}}{W_{ST} + W_{E\&O} + W_M + W_{\text{cons}} + W_{\text{payload}}}$   
= 4,523644359 m

- $LCG_F = \frac{W_{ST} \cdot LCG_{ST} + W_{E\&O} \cdot LCG_{E\&O} + W_M \cdot LCG_M + W_{\text{cons}} \cdot LCG_{\text{cons}} + W_{\text{payload}} \cdot LCG_{\text{payload}}}{W_{ST} + W_{E\&O} + W_M + W_{\text{cons}} + W_{\text{payload}}}$   
= 26,02982475 m

- $LCB_F = 25,98 \text{ m}$

## PERHITUNGAN TONNASE

*International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969*

### Input Data

H =	6,2 m						
T =	3,5 m						
V <sub>Poop</sub> =	515,040 m <sup>3</sup>						
V <sub>FC</sub> =	92,352 m <sup>3</sup>						
V <sub>DH</sub> =	847,872 m <sup>3</sup>						
Δ =	1973,649 ton						
Z <sub>C</sub> =	18 orang						
N <sub>1</sub> =	2 orang	---> jumlah crew didalam satu kabin, diasumsikan 2					
N <sub>2</sub> =	16 orang	---> jumlah crew didalam kabin yang lain					

### Perhitungan

=> **Gross Tonnage**

- Volume Geladak dibawah Geladak Cuaca

$$V_U = \Delta \cdot \left( \left( 1.25 \cdot \frac{H}{T} \right) - 0.115 \right)$$

$$= 4143,252 \text{ m}^3$$

- Volume Ruang Tertutup diatas Geladak Cuaca

$$V_H = V_{\text{poop}} + V_{\text{FC}} + V_{\text{DH}}$$

$$= 1455,264 \text{ m}^3$$

- Total Volume Ruang Tertutup

$$V = V_U + V_H$$

$$= 5598,516 \text{ m}^3$$

- $K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log V$

$$= 0,274961$$

- $GT = V \cdot K_1$

$$= 1539,376 \text{ ton}$$

=> **Net Tonnage**

- Volume Ruang Muat

$$V_c = V_r = 1949,145 \text{ m}^3$$

- $K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log V_c$

$$= 0,265797$$

- $K_3 = 1.25 \frac{GT + 10000}{10000}$

$$= 1,293684$$

$$NT = a + K_3 \cdot \left( N1 + \frac{N2}{10} \right)$$

$$= 463,2679 \text{ ton}$$

=> **Syarat**

- $K_2 \cdot V_{r'} \cdot \left( \frac{4 \cdot T}{3 \cdot H} \right)^2 \geq 458,6107$

- $K_2 \cdot V_{r'} \cdot \left( \frac{4 \cdot T}{3 \cdot H} \right)^2 = a \geq 0.25 \text{ GT}$

**Diterima**

- $0.25 \text{ GT} = 384,8441$

- $NT \geq 0.30 \text{ GT}$

**Diterima**

- $0.30 \text{ GT} = 461,8129$

## TABEL TANGKI

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m
1	FRESH WATER TANK	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	-2.079	1.21	-3.69	3.69	6.2	3.09	-1.2	1.2
2	AFTER PEAK TANK	Tank	100	100	1.025	Sea Water	none	1.21	4.8	-5.69	5.69	6.2	0	-3.69	3.69
3	DIRTY OIL TANK	Tank	100	100	0.9443	Fuel Oil	none	7.8	9.6	-5.67	5.67	1.1	0	-4.57	4.57
4	FUEL OIL TANK	Tank	100	100	0.9443	Fuel Oil	none	12	14.4	-3.75	3.75	1.1	0	DITTO	DITTO
5	SEWAGE TANK	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	15	16.8	-7.4	7.4	1.1	0	-7.31	7.31
6	LUBRICATING OIL TANK	Tank	100	100	0.92	Lube Oil	none	12	14.4	-7.31	-7.31	1.1	0	-6.91	-3.76
7	DIESEL OIL TANK	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	12	14.4	-3.75	7.31	1.1	0	3.76	6.91
8	W/B TANK 7 dan 8	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	16.8	25.2	-7.4	7.4	1.1	0	DITTO	DITTO
9	W/B TANK 5 dan 6	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	25.2	36.6	-7.4	7.4	1.1	0	DITTO	DITTO
10	W/B TANK 3 dan 4	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	36.6	42	-5.18	5.18	1.1	0	-7.4	7.4
11	W/B TANK 1 dan 2	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	42	47.6	-2.57	2.57	1.1	0	-5.18	5.18
12	FORE PEAK TANK	Tank	100	100	1.025	Sea Water	none	47.6	53.2	0	0	3.5	0	-2.57	2.57
13	LNG TANK	Tank	100	100	0.45	Custom 1	none	21.37	37.384	-4.9	4.9	10.9	1.1	DITTO	DITTO
14	LNG PACK	Tank	100	100	0.45	Custom 1	none	16.9	19.82	-2.38	2.38	8.2	6.2	DITTO	DITTO

## LOADCASE I

[illegible]

## LOADCASE II

[illegible]



[illegible][illegible][illegible][illegible]

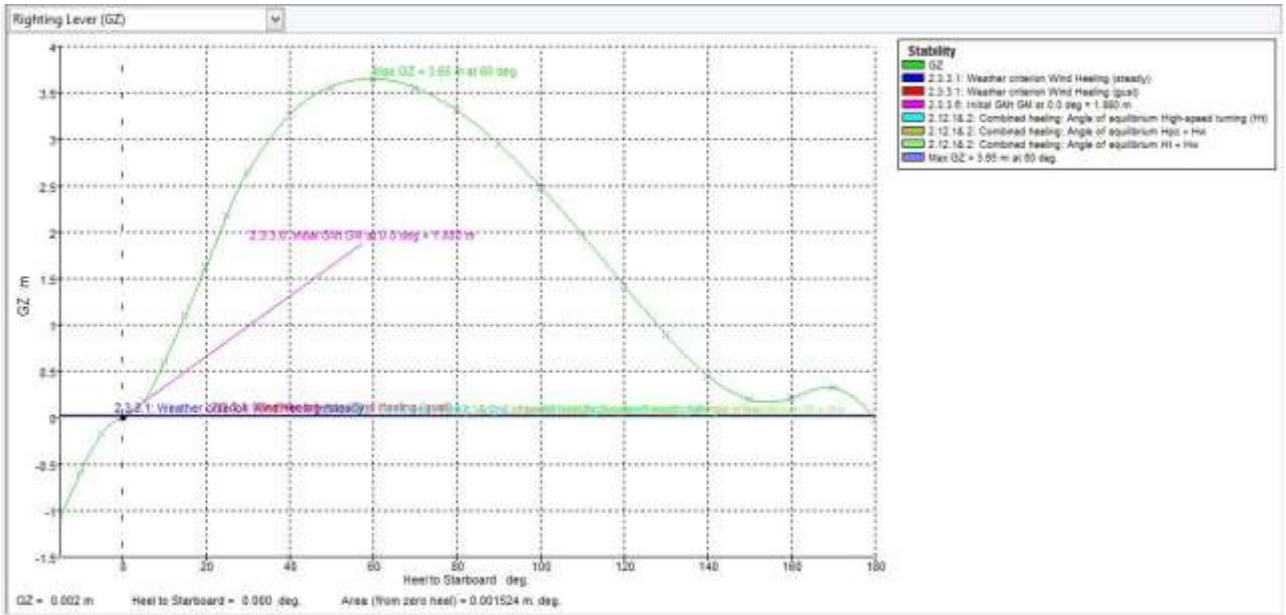
LOADCASE VII

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	1246.300	1246.300			25.910	0.000	0.000	0.000	User Specifi
2	FRESH WATER TANK	50%	43.107	21.553	43.107	21.553	-0.102	0.000	4.175	47.536	IMO A.749(
3	AFTER PEAK TANK	25%	116.516	29.129	113.674	28.419	3.613	0.000	2.726	135.867	IMO A.749(
4	DIRTY OIL TANK	30%	15.645	4.693	16.567	4.970	8.756	0.000	0.234	129.188	IMO A.749(
5	FUEL OIL TANK	60%	18.608	9.304	19.795	9.853	13.202	0.000	0.279	79.103	IMO A.749(
6	SEWAGE TANK	30%	28.288	11.032	28.288	11.032	15.907	0.000	0.229	461.191	IMO A.749(
7	LUBRICATING OIL TANK	50%	6.923	3.462	7.525	3.763	13.266	-5.126	0.339	5.914	IMO A.749(
8	DIESEL OIL TANK	50%	6.321	3.161	7.525	3.763	13.266	-5.126	0.339	5.399	IMO A.749(
9	W/B TANK 7 dan 8	30%	137.229	41.189	133.882	40.165	21.000	0.000	0.174	2253.143	IMO A.749(
10	W/B TANK 5 dan 6	30%	185.225	55.567	180.707	54.212	30.865	0.000	0.175	3032.894	IMO A.749(
11	W/B TANK 3 dan 4	30%	70.654	21.196	68.931	20.679	39.119	0.000	0.180	978.024	IMO A.749(
12	W/B TANK 1 dan 2	30%	43.238	12.971	42.183	12.655	44.429	0.000	0.191	274.437	IMO A.749(
13	FORE PEAK TANK	30%	43.403	13.021	42.345	12.793	49.127	0.000	0.672	19.969	IMO A.749(
14	LNG TANK	60%	431.246	215.623	958.325	479.162	29.377	0.000	2.627	561.936	IMO A.749(
15	LNG PACK	70%	6.770	4.739	15.044	10.531	18.360	0.000	6.579	10.851	IMO A.749(
16	Total Loadcase			1692.921	1677.809	713.460	25.913	-0.001	0.477	7993.452	
17	FS correction								4.722		
18	VCG fluid								5.199		

LOADCASE VIII

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	1246.300	1246.300			25.910	0.000	0.000	0.000	User Specifi
2	FRESH WATER TANK	50%	43.107	21.553	43.107	21.553	-0.102	0.000	4.175	47.536	IMO A.749(
3	AFTER PEAK TANK	35%	116.516	40.781	113.674	39.786	3.479	0.000	3.043	135.867	IMO A.749(
4	DIRTY OIL TANK	60%	15.645	7.622	16.567	8.284	8.751	0.000	0.349	129.188	IMO A.749(
5	FUEL OIL TANK	25%	18.608	4.652	19.795	4.928	13.203	0.000	0.142	79.103	IMO A.749(
6	SEWAGE TANK	50%	28.288	14.144	28.288	14.144	15.907	0.000	0.290	461.191	IMO A.749(
7	LUBRICATING OIL TANK	25%	6.923	1.731	7.525	1.881	13.286	-5.004	0.197	5.914	IMO A.749(
8	DIESEL OIL TANK	25%	6.321	1.580	7.525	1.881	13.286	-5.004	0.197	5.399	IMO A.749(
9	W/B TANK 7 dan 8	50%	137.229	68.614	133.882	66.941	21.000	0.000	0.286	2253.143	IMO A.749(
10	W/B TANK 5 dan 6	50%	185.225	92.612	180.707	90.354	30.867	0.000	0.286	3032.894	IMO A.749(
11	W/B TANK 3 dan 4	50%	70.654	35.327	68.931	34.486	39.124	0.000	0.294	978.024	IMO A.749(
12	W/B TANK 1 dan 2	60%	43.238	21.619	42.183	21.092	44.443	0.000	0.308	274.437	IMO A.749(
13	FORE PEAK TANK	60%	43.403	21.762	42.345	21.172	49.154	0.000	1.025	19.969	IMO A.749(
14	LNG TANK	25%	431.246	107.812	958.325	239.581	29.377	0.000	1.883	561.936	IMO A.749(
15	LNG PACK	50%	6.770	3.385	15.044	7.522	18.360	0.000	6.471	10.851	IMO A.749(
16	Total Loadcase			1689.634	1677.809	573.583	25.904	0.000	0.314	7993.452	
17	FS correction								4.731		
18	VCG fluid								5.045		

GRAFIK STABILITAS





**LAMPIRAN B**  
**BERITA PENDUKUNG**

## LNG Bahan Bakar Alternatif untuk Transportasi Laut



JAKARTA— Perkembangan LNG di masa mendatang sangatlah menjanjikan karena memiliki keunggulan sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dengan harga yang kompetitif. Sehingga penggunaan LNG Bunker di Indonesia akan lebih banyak dalam rangka untuk mendukung proteksi lingkungan.

Berbagai upaya tengah dilakukan oleh Pertamina di fungsi Direktorat Energi Baru Terbarukan mulai dari menjalin kerjasama dari berbagai pihak hingga berbagai kegiatan workshop terkait LNG.

General Manager LNG Transportation-JMG Pertamina, Amir Harahap mengatakan bahwa beberapa negara di Eropa dan Amerika telah membuat regulasi yang memperketat emisi gas buang bahan bakar minyak dan menggantinya dengan bahan bakar LNG.

“Inilah saatnya kita bersinergi dengan kementerian perhubungan laut untuk mendorong perniagaan ke Eropa dan Amerika diharapkan menggunakan bahan bakar LNG,” ungkap Amir dalam kesempatan Workshop LNG yang diselenggarakan oleh Direktorat Energi Baru Terbarukan, di Hotel Sari Pan Pacific Jakarta, Selasa (16/6).

Amir berharap penggunaan bahan bakar LNG untuk transportasi laut tidak hanya internasional saja tetapi di domestik yang rencananya akan dikembangkan mulai dari Arun dan terminal Teluk Lamong di Jawa Timur.

Hal senada juga disampaikan oleh Direktur Lalu Lintas dan Angkutan Laut Kementerian Perhubungan, Harry Boediarso. Pihaknya juga akan melakukan upaya perpindahan bahan bakar yang digunakan kapal laut dengan LNG. Selain itu dibutuhkan kesadaran dari pemilik armada kapal untuk menggunakan LNG.

“Jika tidak menggunakan LNG, nantinya kapal-kapal kita tidak bisa pergi ke Eropa dan Amerika pada akhir 2015 karena ketatnya regulasi di negara tersebut terhadap gas buang BBM. Kami sangat mengapresiasi karena Pertamina yang sangat peduli terhadap lingkungan emisi gas buang,” ungkap Harry.

Sementara itu, Presiden Direktur DNV-GL Indonesia, Sheikh Khaled Mattar yang hadir sebagai nara sumber dalam workshop tersebut mengatakan bisnis bahan bakar LNG merupakan investasi yang baik karena di Indonesia banyak sektor yang membutuhkan transportasi laut. Maka dari itu Indonesia butuh mempunyai bunker yang menyimpan cadangan LNG, sehingga pasokan LNG pun dapat dipenuhi.

“Teknologi bahan bakar LNG di Asia Tenggara sudah dimulai di Singapura. Hampir semua vessel yang masih menggunakan BBM dikonversikan menjadi bahan bakar LNG dan vessel berbahan bakar LNG tengah dikembangkan di Indonesia,” kata Sheikh.<sup>IRLI</sup>



### Awal Tahun Depan, Pelabuhan Singapura Operasikan LNG Bunkering

Posted By: [Redaksion](#): February 21, 2016In: [Energi](#), [Featured](#), [LNG Shipping](#)

**JMOL.** Mulai awal tahun 2017, Pelabuhan Singapura sudah menyediakan pengisian LNG (LNG Bunkering) untuk kapal-kapal berbahan bakar LNG (LNG/gas Fueled Ship) atau kapal BBG. Langkah ini merupakan bagian dari ambisi Singapura menjadi LNG Hub untuk kawasan Asia. Selama ini, Singapura sudah dikenal sebagai bunker BBM kapal terbesar di dunia, dengan penjualan tahun lalu (2015) tercatat sebesar 45,2 juta ton.

Dalam laman resminya, Andrew Tan, CEO Maritime and Port Authority of Singapore (MPA), menyebut langkah ini sebagai bentuk komitmen pelabuhannya untuk memenuhi perkembangan regulasi internasional tentang batasan emisi kapal. Untuk diketahui, regulasi IMO tentang batasan emisi akan diberlakukan pada tahun 2020.

Untuk mendukung upaya itu, MPA bahkan mengalokasikan dana insentif sebesar 12 juta Dolar Singapura untuk mendukung pembangunan enam unit kapal BBG. Saat ini, sebanyak 5 aplikasi pembangunan kapal BBG sedang dievaluasi dan hasilnya akan diumumkan bulan Maret 2016 depan. Selain itu, sejumlah tug boat yang beroperasi di pelabuhan Singapura juga didorong untuk melakukan konversi dari HFO ke LNG.

Pavilion Gas dan Keppel-BG memenangkan konsesi penyedia LNG Bunkering di atas pada Januari 2016 lalu. Keduanya kini sedang mempersiapkan infrastruktur LNG Bunkering. Pavilion Energy Group juga terlibat dalam pembangunan Singapore's LNG index (SLInG), yang akan menjadi acuan harga LNG untuk kawasan Asia-Pasifik.

Sedangkan Keppel-BG adalah joint venture antara Keppel Offshore & Marine dan BG, perusahaan gas trader. BG menyatakan sudah menyiapkan pasokan LNG sebesar 3 MTPA untuk mendukung operasional LNG Bunkering Singapura. Keppel Offshore & Marine,

penyedia teknologi dan galangan kapal, menyiapkan sejumlah fasilitas pengisian LNG, termasuk desain kapal BBG, meliputi jenis barge, kargo dan dual fuel Tugs. **[AS]**

## Pelni Lirik Penghematan Dari Penggunaan LNG Pada Kapal

Minggu, 06 April 2014 - 16:58 Dilihat: 1586 kali Komentar: [0](#)



*Armada kapal Pelni.*

JAKARTA – Perusahaan pelayaran milik pemerintah, PT Pelni sedang ancap-ancang melakukan penghematan lewat penggunaan *Liquid Natural Gas* (LNG) untuk menggantikan bahan bakar minyak (BBM) pada kapal penumpang.

Seperti diungkapkan Direktur Utama Pelni, Syahril Japarin, selama ini kapal-kapal penumpang yang dioperasikannya masih menggunakan BBM Subsidi. Secara keseluruhan kebutuhan BBM Pelni untuk armada kapal sebesar 219 Juta Kilo Liter (KL) dengan *main bunkering* di Jakarta, Surabaya dan Makasar, serta *supporting bunkering* di Balikpapan, Bitung, Kupang, Ambon, Denpasar dan Semarang.

Kebutuhan BBM tersebut, kata Syahril, menyerap 65% biaya operasi Pelni dalam setahun. Bila penggunaan BBM tersebut bisa dikonversi dengan LNG, maka Pelni sebagai BUMN yang melayani kebutuhan masyarakat dalam transportasi laut antar pulau di Nusantara, akan mendapatkan penghematan yang dapat dimanfaatkan untuk membeli kapal serta peningkatan sarana lainnya.

Ia menyebutkan, untuk menekan biaya BBM. Pelni tertarik mengembangkan penerapan teknologi LNG sebagai bahan bakar secara *single* maupun *dual fuel*. Sebagai langkah awal, Pelni pun menjalin kerjasama kajian penggunaan LNG pada kapal penumpang, dengan PT Pertamina Gas (Pertagas).

*Memorandum of Understanding* (MoU) kerjasama itu telah ditandatangani di Jakarta pada Kamis, 3 April 2014 pekan lalu. Kerjasama ini untuk membuka kemungkinan penggunaan LNG bagi armada kapal-kapal yang dimiliki BUMN transportasi ini.

Pada kesempatan yang sama, Presiden Direktur Pertagas, Hendra Jaya menuturkan, sejalan dengan meningkatnya armada kapal nasional, menjadi peluang bagi pengembangan bisnis gas bagi transportasi laut. Untuk memperluas pasar gas, Pertagas mulai merintis pemasaran LNG ke perusahaan pelayaran.

Hendra menjelaskan, LNG merupakan gas dalam bentuk cair, merupakan energi yang paling pas untuk mengkonversi BBM bagi transportasi laut. Selain mudah dalam pengangkutan, LNG hanya perlu ruangan lebih kecil dibandingkan CNG. Oleh sebab itu, LNG sangat cocok untuk ruang kapal yang terbatas.

Maka dari itu, lanjutnya, sebagai langkah awal inisiasi penggunaan LNG bagi transportasi laut, Pertamina bekerjasama dengan Pelni, mengkaji penggunaan LNG pada kapal penumpang. “Ini sebuah inisiatif yang strategis bagi Pertamina dan Pelni dalam rangka sinergi BUMN,” tegasnya.

Kerjasama ini, kata Hendra lagi, akan menjadi *pioneer* dalam penggunaan LNG sebagai bahan bakar kapal di Indonesia. “Kami harapkan hasil kajian akan memberikan sinyal positif, sehingga kedepannya tidak hanya Pelni yang menggunakan LNG namun juga perusahaan angkutan laut lainnya,” sambung Syahril Japarin.

Syahril juga mengatakan, peluang bisnis LNG untuk sektor transportasi laut ini cukup menggiurkan. Tak hanya di Pelni, tetapi juga pelayaran nasional. Sejak penerapan azas cabotage pada 2005, total armada kapal nasional per 31 Maret 2013 meningkat 99,2% menjadi 12.047 unit, terdiri dari tongkang/*barge*, *Tug Boat* dan *general cargo*. Surat Izin Usaha Perusahaan Angkutan Laut (SIUPAL) dan Surat Izin Operasi Perusahaan Angkutan Laut Khusus (SIOPSUS) juga meningkat setiap tahun.

“Ini peluang yang begitu besar, yang mendorong Pertamina mulai merintis LNG untuk sektor transportasi. Bila proyek ini *feasible*, LNG ini juga dapat dimanfaatkan untuk kapal nelayan, yang saat ini masih menggunakan Solar Subsidi,” tutur Hendra.

(**Abdul Hamid** / [duniaenergi@yahoo.co.id](mailto:duniaenergi@yahoo.co.id))

## **BKI Dukong Gasifikasi Sektor Maritim Nasional**

Oleh Andri Rezeki

Januari 24, 2016

BKI – PT Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)/BKI turut andil dalam Forum “Penyusunan Peta Jalan Pemanfaatan LNG Untuk Bahan Bakar Transportasi Laut” yang digelar oleh Dirjen Migas – Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral di Hotel Holiday Inn, Bandung, Jumat (22/1). Kegiatan ini menghadirkan berbagai stakeholder dari sektor maritim maupun migas baik dari Regulator, Akademisi, Lembaga Riset, dan BUMN. Acara dibuka langsung oleh Dirjen Minyak dan Gas Bumi, IGN Wiratmadja. Dalam kesempatan itu Ia menaruh harapan besar bahwa konversi gas di sektor maritim sama suksesnya dengan konversi LPG di sektor rumah tangga. Dalam acara ini, BKI dalam hal ini turut andil sebagai anggota tim task force ‘Pemanfaatan LNG untuk Transportasi Laut’ dan menjadi koordinator untuk menelaah Regulasi pendukung program pemanfaatan LNG untuk transportasi laut.

Direktur Utama BKI, Rudyanto, memaparkan bagaimana pemanfaatan LNG atau Liquid Natural Gas. LNG memiliki kelebihan diantaranya memiliki potensi ekonomi yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak apabila digunakan sebagai bahan bakar penggerak kapal, “LNG memenuhi sebagian besar persyaratan emission control area (ECA), teknologi yang digunakan sudah proven dan sudah banyak dipakai, dan memiliki fleksibilitas dalam hal bunkering”, terangnya. Ia menambahkan, saat ini dari 70 kapal berbahan bakar gas telah beroperasi dan 4 diantaranya adalah konversi. Dari sekian puluh kapal tersebut, belum ada laporan dari kapal yang beroperasi mengalami kegagalan sistem yang mengakibatkan korban jiwa ataupun kerusakan pada kapal. Hal ini dikarenakan semua kapal tersebut memenuhi semua aturan dari sisi keselamatan maupun dari sisi operasional. Dalam hal penggunaan gas di atas kapal, menurut Divisi Riset dan Pengebangan BKI, Eko Maja Priyanto, BKI sudah memiliki *Guidelines* yang dibangun dengan mengacu kepada standar teknis yang terdapat di IGF Code//*International Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels*. Didalam *guidelines* tersebut sudah mencakup persyaratan yang mempertimbangan resiko ledakan, pertimbangan : sistem propulsi, operasional, dan permesinan. Selain itu *guidelines* ini sudah mengakomodir aspek keselamatan operasional seperti proses pengisian LNG pada kapal.

Dalam pengembangan perangkat pendukung, BKI juga sudah membangun software perhitungan energi efisiensi di kapal baik kapal baru (EEDI) maupun kapal setelah beroperasi (EEOI). Software dengan nama GreenPADMA ini juga telah dirancang untuk mengkalkulasi efisiensi energi bagi kapal-kapal yang menggunakan gas sebagai bahan bakar baik *Dual Fuel* maupun *Single Fuel*.

Proyek Kapal berbahan bakar gas yang melibatkan BKI diantaranya adalah proyek Kapal bangunan baru PLN CNG Carrier dan Kapal Ferrindo-5 milik ASDP yang direncanakan akan dikonversi di 2016 ini.

Dalam pengembangan kompetensi BKI dibidang kapal berbahan bakar gas, BKI telah menggandeng beberapa stakeholder untuk bersama-sama melakukan kajian dan bimbingan teknis, misalnya dengan Pertamina, PGN, PELNI, Dirjen MIGAS bahkan BKI juga pernah melakukan kerjasama transfer pengetahuan dalam bentuk seminar bersama Engine Maker Wartsila dan juga dari KAIST (Korea).





**Suaramandiri .com (Surabaya)**-Badan Usaha Milik Negara (BUMN) PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) atau Pelindo III memastikan pekerjaan pengerukan Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) akan segera dimulai. Kepastian tersebut didapat setelah dilakukan penandatanganan Surat Perjanjian Pemborongan Pekerjaan Pengerukan APBS antara Pelindo III dan Van Oord Dredging and Marine contractors BV (Van Oord). Van Oord sendiri merupakan kontraktor asal Belanda yang ditunjuk oleh Pelindo III untuk melakukan pekerjaan pengerukan APBS setelah melalui serangkaian tahap pelelangan.

Direktur Utama Pelindo III Djarwo Surjanto mengatakan pekerjaan pengerukan APBS akan dilakukan dalam jangka waktu sekitar 1 tahun. Pekerjaan tersebut berupa pelebaran alur dari 100 meter menjadi 150 meter dan pendalaman alur hingga -13 meter low water spring (mLWS). Pengerukan APBS, tambahnya, telah direncanakan sejak sekitar tahun 2000 dan baru terlaksana pada tahun 2014 ini. Itu artinya, pekerjaan pelebaran dan pendalaman APBS memakan waktu hingga 14 tahun.

"Kami targetkan awal tahun 2015 mendatang pekerjaan ini sudah selesai dan APBS sudah dapat dilalui kapal-kapal berukuran besar dengan muatan yang lebih banyak", kata Djarwo sesaat setelah penandatanganan Surat Perjanjian Pemborongan Pekerjaan Pengerukan APBS di Kantor Pusat Pelindo III, Jumat (4/4).

Ditambahkan Djarwo, setelah pekerjaan selesai pihak Van Oord masih melakukan pemantauan dan perawatan alur selama 2 tahun. Pihaknya menyatakan, pekerjaan pengerukan APBS yang akan dimulai pada bulan Mei mendatang merupakan proyek tahap pertama dari pengerukan APBS.

"Ketika pengerukan ini berhasil dan membawa dampak yang signifikan, maka pekerjaan akan kami lanjutkan hingga nantinya APBS memiliki lebar 200 meter dan kedalaman hingga -16 mLWS," tambahnya.

Disinggung mengenai biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk proyek APBS ini, Djarwo menjawab jika pekerjaan ini menelan biaya sekitar USD76 juta. Dana itu diperoleh dari kas perusahaan dan pinjaman perbankan.

Pemimpin Proyek Pekerjaan APBS Hendiek Eko Setiantoro berbicara soal teknis pekerjaan pengerukan APBS. Katanya, pipa gas eks Kodeco yang masih melintang menjadi kendala dalam pekerjaan pengerukan alur. Untuk itu, pekerjaan pengerukan akan dilakukan diluar perlintasan jalur pipa gas tersebut. "Tahap ini kami lakukan pengerukan di empat titik lokasi di sepanjang APBS dengan perkiraan jarak total kurang lebih sekitar 19 kilometer, dengan volume pasir dan lumpur mencapai 10 juta m3," katanya.

Direktur Van Oord Dredging and Marine contractors BV Peter Van Der Hulst menyatakan pihaknya siap memulai



pekerjaan pengerukan APBS sesegera mungkin. Hal itu dinyatakan Peter mengingat saat ini alat-alat yang akan digunakan untuk pekerjaan pengerukan APBS telah ada di Indonesia. "Kapal keruk kami saat ini sudah ada di sekitar Surabaya. Kapal-kapal itu akan segera bergerak ketika semuanya telah siap pada bulan Mei 2014," terangnya.

## **Sekilas APBS**

Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) merupakan pintu masuk menuju Pelabuhan Tanjung Perak dan sekitarnya. Kondisi APBS saat ini hanya memiliki lebar 100 meter dan kedalaman -9 mLWS serta hanya terdapat satu jalur perlintasan. Bukan hanya itu saja, kapasitas APBS yang tersedia hanya 27.000 gerakan kapal. Padahal, pada tahun 2013 lalu tercatat 43.000 gerakan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak dan sekitarnya.

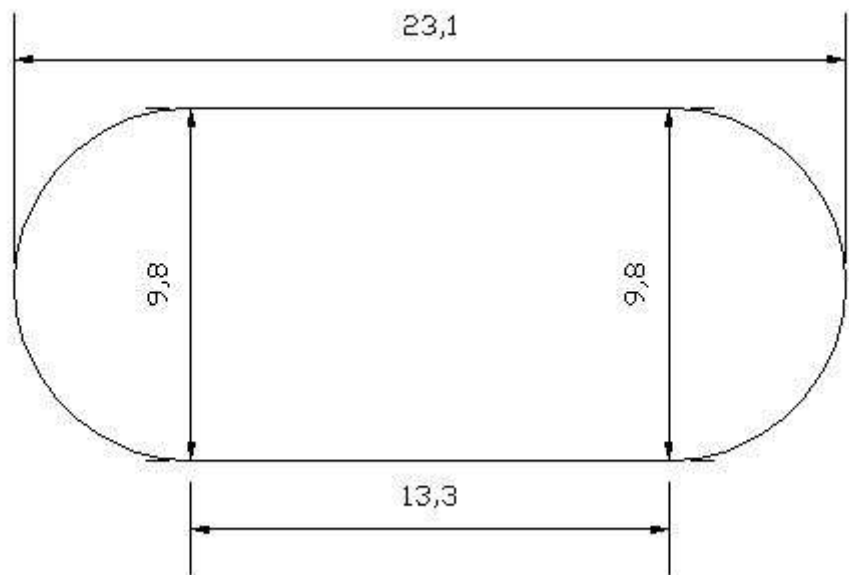
Keterbatasan lain yang dimiliki APBS saat ini adalah tidak mampu dilewati kapal dengan draft lebih dari 8,5 meter. APBS hanya mampu dilewati kapal curah kering 40.000 DWT, kapal tanker 40.000 DWT, kapal LNG 20.000 DWT, dan kapal petikemas 20.000 DWT.

Dengan pengembangan APBS yang dilakukan Pelindo III, maka diharapkan dapat memacu pertumbuhan ekonomi di Jawa Timur. Itu terjadi karena adanya efisiensi biaya, mengingat kapal-kapal berukuran besar dengan volume muatan/barang yang dibawa lebih banyak dapat masuk ke Pelabuhan Tanjung Perak. Setelah pelebaran dan pendalaman, APBS dapat dilewati kapal curah kering 90.000 DWT, kapal tanker 65.000 DWT, kapal LNG 60.000 DWT, dan kapal petikemas 50.000 DWT. APBS juga akan memiliki dua jalur perlintasan kapal sehingga akan memperlancar mobilitas kapal. **(mahfud/humas pelindo III)**

Harga LNG



Dimensi Tanki LNG 1500 m3



Dimensi Tangki LNG Pack

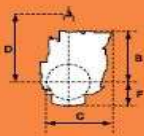
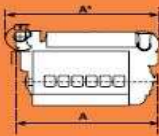
NO	TYPE TANGKI	Ø (DIAMETER)	I mm	L mm	t1 mm	t2 mm	A mm
1	10.000 LITER	2070	2540	3040	6	8	970
2	10.000 LITER	2380	2275	2775	6	8	825
3	15.000 LITER	2000	4750	5210	6	8	1030
4	20.000 LITER	2500	4000	4540	8	10	1130
5	30.000 LITER	2500	6100	6700	8	10	1110
6	45.000 LITER	2500	9150	9950	8	10	1200
7	45.000 LITER	2750	7500	8138	8	10	1230
8	60.000 LITER	2860	9450	10050	8	10	1230

MAIN TECHNICAL DATA

Wärtsilä 20DF		IMO Tier III	
Cylinder bore	200 mm	Fuel specification: Fuel oil	
Piston stroke	280 mm	700 cSt/50°C	7200 sR1/100°F
Cylinder output	185 kW/cyl	ISO 8217, category ISO-F-DMX, DMA and DMB	
Speed	1200 rpm		
Mean effective pressure	21.0 bar	BSEC 7700 kJ/kWh at ISO cond.	
Piston speed	11.2 m/s		

Rated power	
Engine type	kW
6L20DF	1 110
8L20DF	1 480
9L20DF	1 665

Engine dimensions (mm) and weights (tonnes)							
Engine type	A*	A	B	C	D	F	Weight
6L20DF	3 254	3 108	1 705	1 690	1 800	624	9.4
8L20DF	3 973	3 783	1 705	1 824	1 800	624	11.1
9L20DF	4 261	4 076	1 705	1 824	1 800	624	11.7



## CRANE LNG

pedestal marine crane for ocean liner LNG vessel

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

1 Set/Sets (Min. Order)

Supply Ability: 50 Set/Sets per Year

Payment Terms: T/T, L/C, D/P, D/A, O/A, A/C, A/P, Cash, Western Union, Money Order, Credit Card, Escrow



### Overview

Quik Details :

Place of Origin	Shanghai, China (Mainland)	Brand Name	GHE	Model Number	GHE-HKMC-300-S
Crane Type	LNG Crane	Crane SWL	0.5t, 5m	Crane Boom Le	15 m
Crane Color	As customer' request				

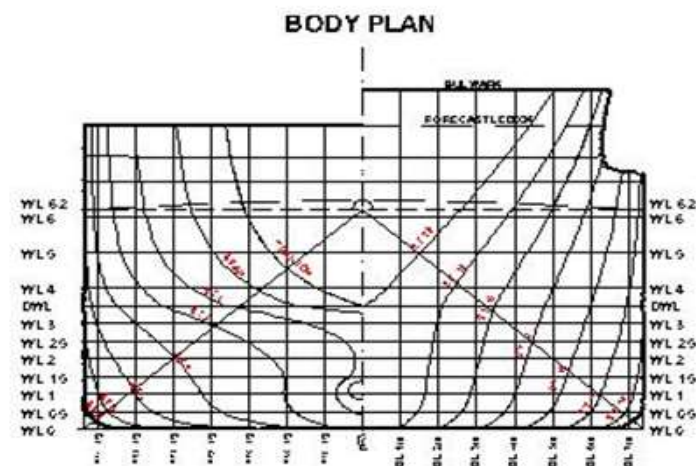
#### Key component includes

- Uses standard marine knuckle boom crane
- Minimises operating personnel
- Flexible LNG transfer and / or vapour return lines – 4" to 8"
- Safe operation (SIL 2)
- Active emergency release and shutdown systems
- Quick connection / disconnection
- Easily aligned to different manifold arrangements
- Monitors and compensates for vessel motions including limit detection system
- Transfer of loads through secure landing frame
- Proven gas handling components

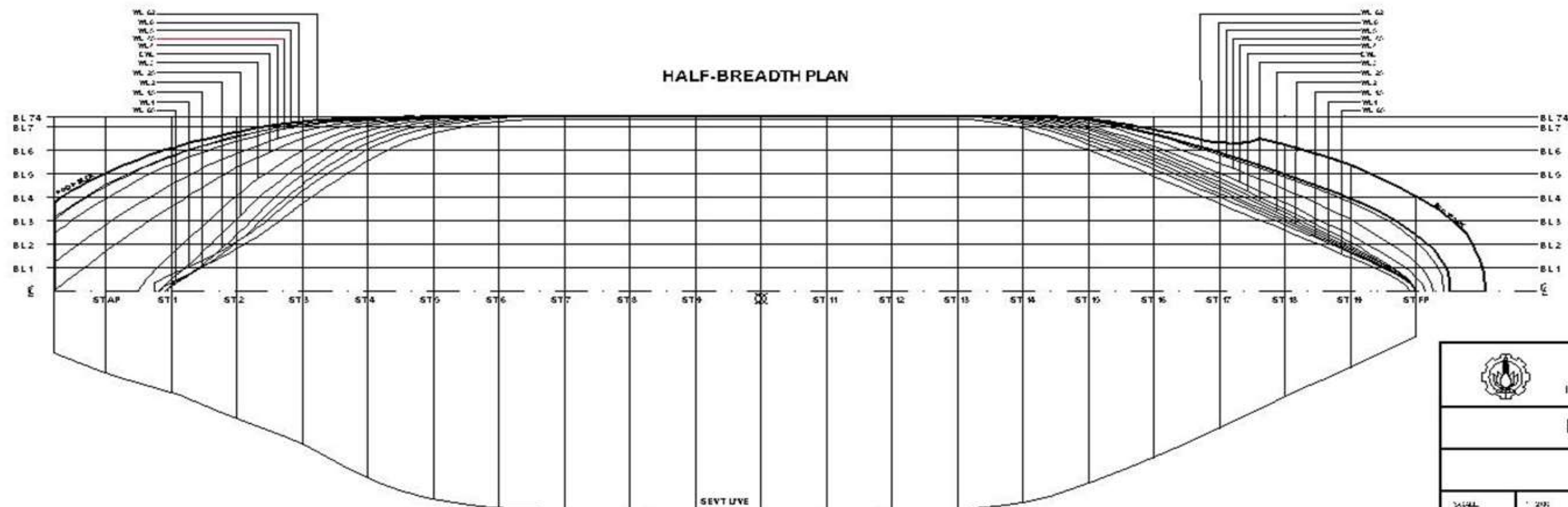
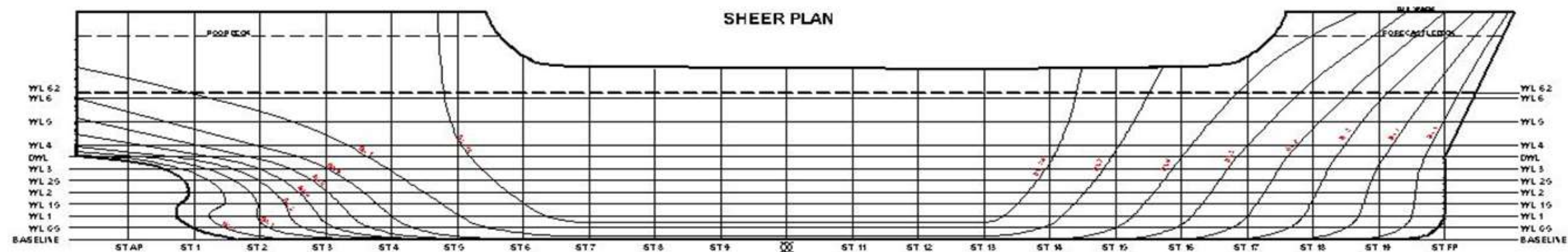
**LAMPIRAN C**  
**LINES PLAN**




OFFSET TABLE OF BUTTOCK LINE									
ST	BL 0	BL 1	BL 2	BL 3	BL 4	BL 5	BL 6	BL 7	BL 7.4
TRANSOM	3.5	3.39	4.55	5.91	5.05				
STAP	3.25	3.41	3.55	4.05	5.05				
ST 1	0.42	2.75	3.12	3.37	3.56	4.41	5.17		
ST 2	0.00	0.12	0.72	2.44	2.96	3.39	4.17		
ST 3	0.00	0.00	0.07	0.24	0.65	2.06	3.01	4.78	
ST 4	0.00	0.00	0.00	0.05	0.25	0.95	2.37		
ST 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.12	1.05	4.25
ST 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.26	1.54
ST 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.72
ST 14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.62	3.25
ST 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	3.78	
ST 16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.62	3.50		
ST 17	0.00	0.00	0.00	0.04	0.35	3.57	6.51		
ST 18	0.00	0.00	0.06	1.72	4.44	6.25	8.55		
ST 19	0.00	0.10	3.2	4.51	6.33	8.76			
ST FP	3.5	4.45	5.56	6.75	5.60				



OFFSET TABLE OF WATER LINE												
ST	Baseline	WL 0.5	WL 1	WL 1.5	WL 2	WL 2.5	WL 3	DWL	WL 4	WL 5	WL 6	WL 6.2
TRANSOM								0.00	1.2	2.44	3.05	3.11
STAP								1.71	2.86	3.97	4.46	4.55
ST 1	0.62	0.72	0.37	0.22	0.51	1.55	3.61	4.54	5.40	5.75	5.78	
ST 2	0.00	1.31	2.05	2.12	2.43	3.10	4.05	5.27	5.87	6.35	6.58	6.61
ST 3	1.12	3.75	4.25	4.57	4.96	5.44	5.99	6.45	6.80	7.05	7.12	7.15
ST 4	2.26	5.55	6.02	6.31	6.55	6.85	7.05	7.17	7.25	7.31	7.34	7.36
ST 5	4.45	6.75	6.98	7.14	7.24	7.32	7.36	7.39	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 6	5.90	7.22	7.37	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 7	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 8	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 9	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 10	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 11	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 12	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 13	6.27	7.33	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 14	5.88	6.93	7.12	7.24	7.32	7.36	7.39	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
ST 15	5.01	6.01	6.27	6.43	6.55	6.73	6.85	6.95	7.04	7.17	7.25	7.26
ST 16	3.91	4.90	5.18	5.36	5.53	5.69	5.85	6.00	6.15	6.42	6.64	6.67
ST 17	2.77	3.73	4.00	4.16	4.31	4.47	4.62	4.80	5.01	5.44	5.80	5.80
ST 18	1.70	2.59	2.82	2.95	3.07	3.18	3.32	3.47	3.75	4.33	4.87	4.87
ST 19	0.62	1.42	1.62	1.70	1.76	1.84	1.92	2.05	2.58	3.07	3.76	3.92
ST FP								0.00	0.62	1.51	2.38	2.55



PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	GENERAL PURPOSE
LENGTH OVERALL	40.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0
LENGTH BULB	30.0



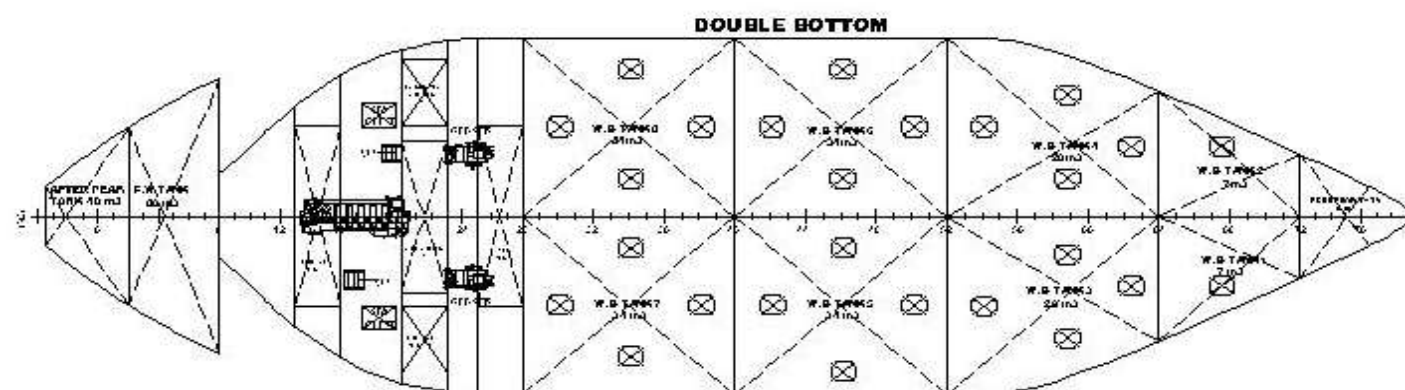
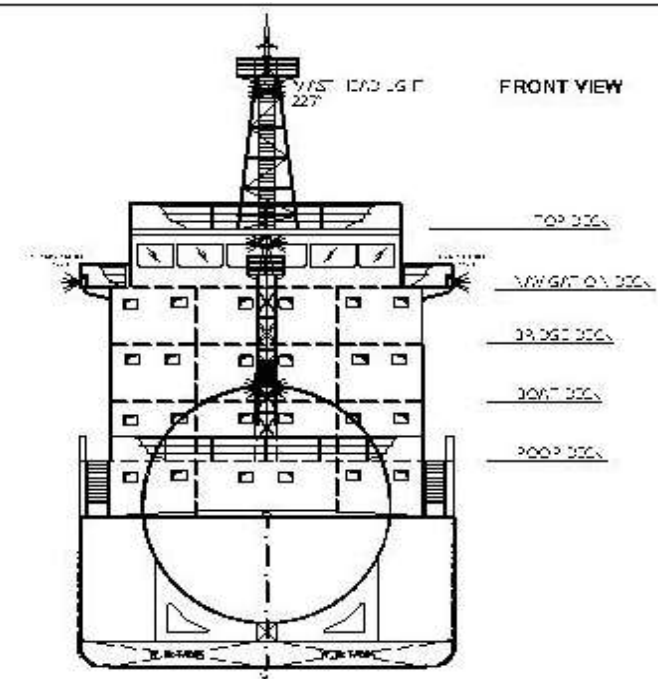
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**MT. BANDIS PRATAMA**

**LINES PLAN**

SCALE	1:200	DATE	10/10/2022
DESIGNER	Andi Rizki Pratama	DATE	10/10/2022
APPROVED	Andi Rizki Pratama	DATE	10/10/2022

**LAMPIRAN D**  
**GENERAL ARRANGEMENT**

[illegible]

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FAKULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MT. BANDIS PRATAMA

## GENERAL ARRANGEMENT

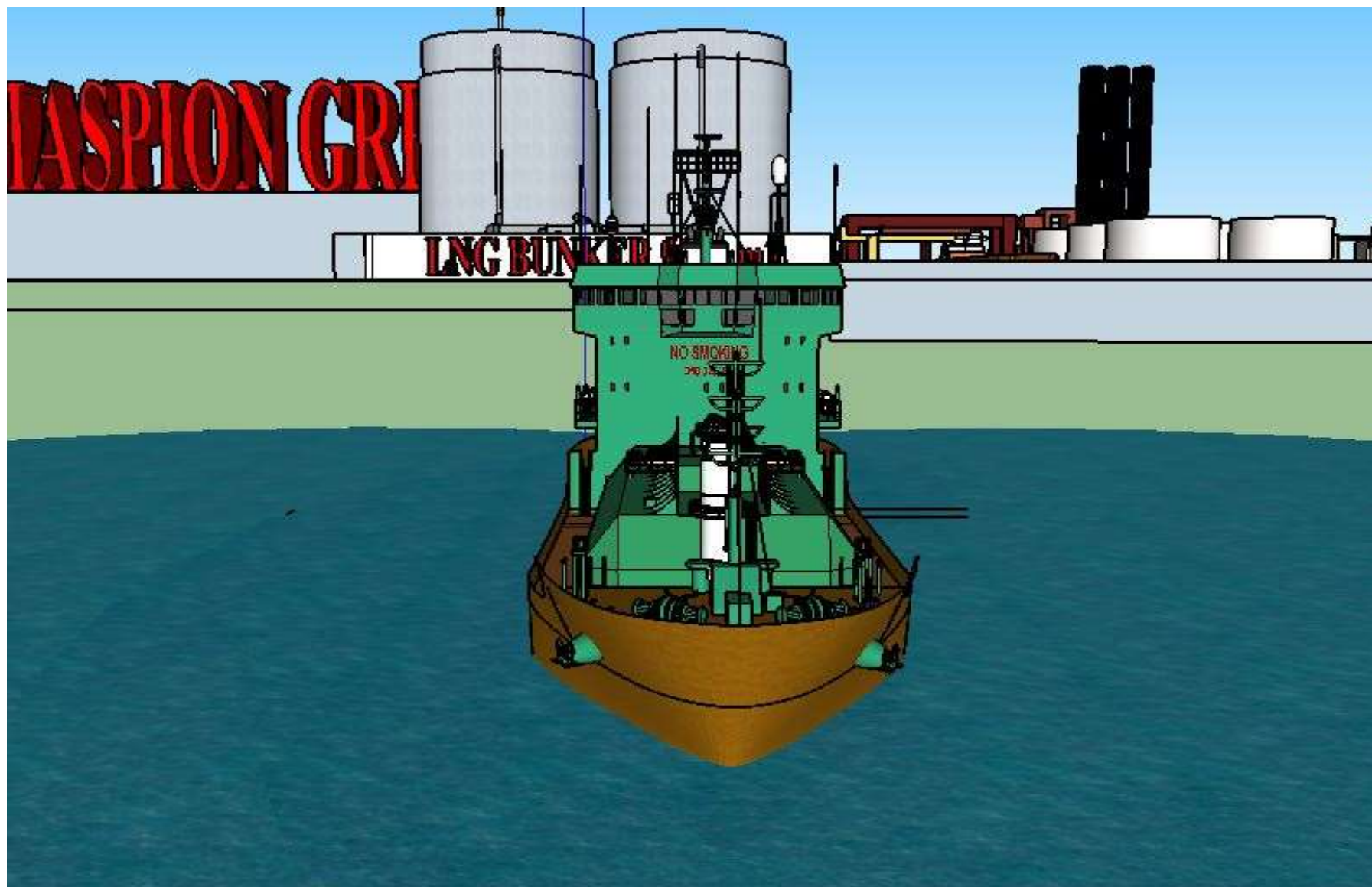
SAFARI	1999	5,000,000	U.S.D.	1,000,000,000
DISCOUNT	Carfax Energy Services Ltd. (Canada)			2,000,000,000
SAFARI	1999	5,000,000	U.S.D.	1,000,000,000



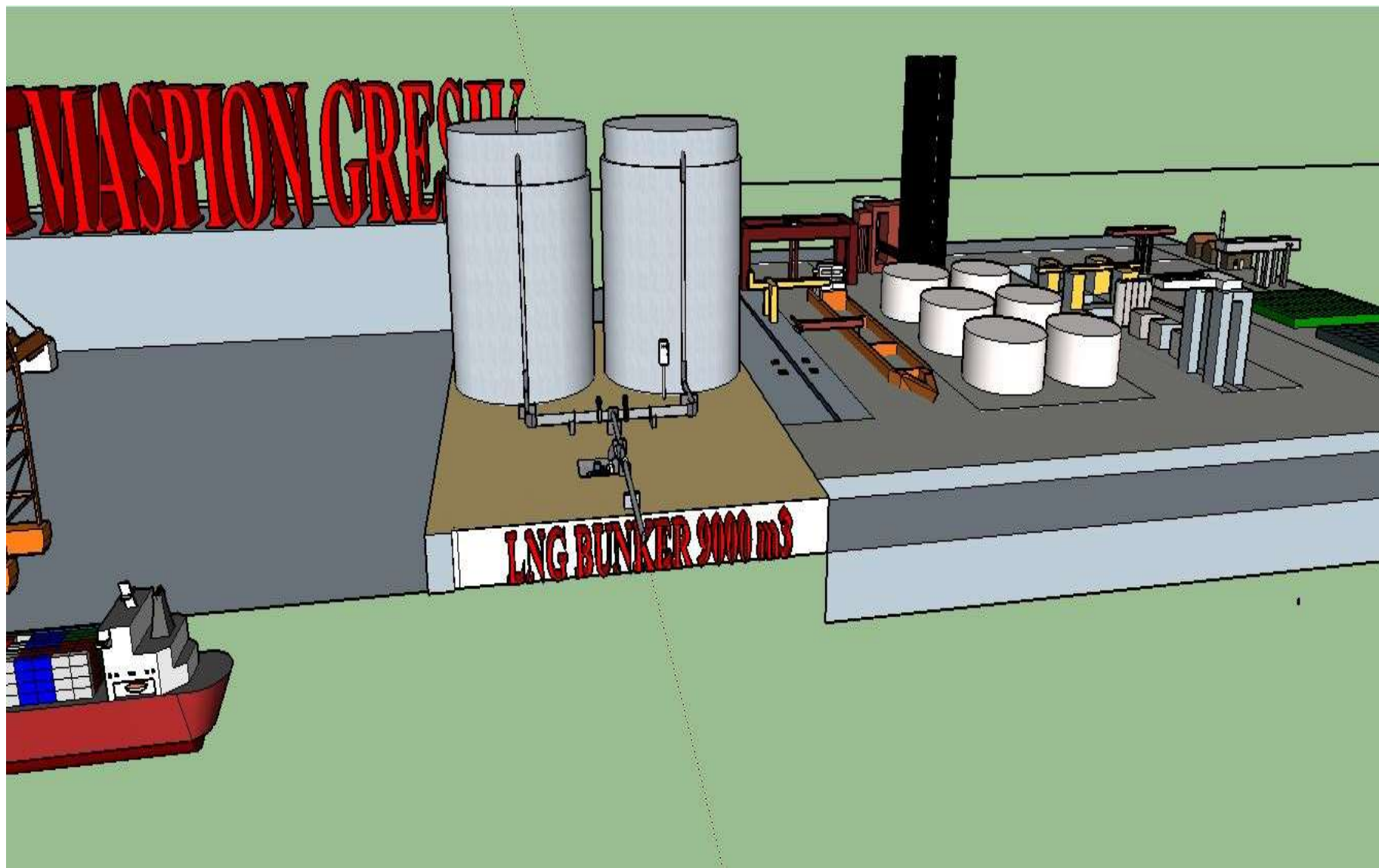
## **LAMPIRAN E**

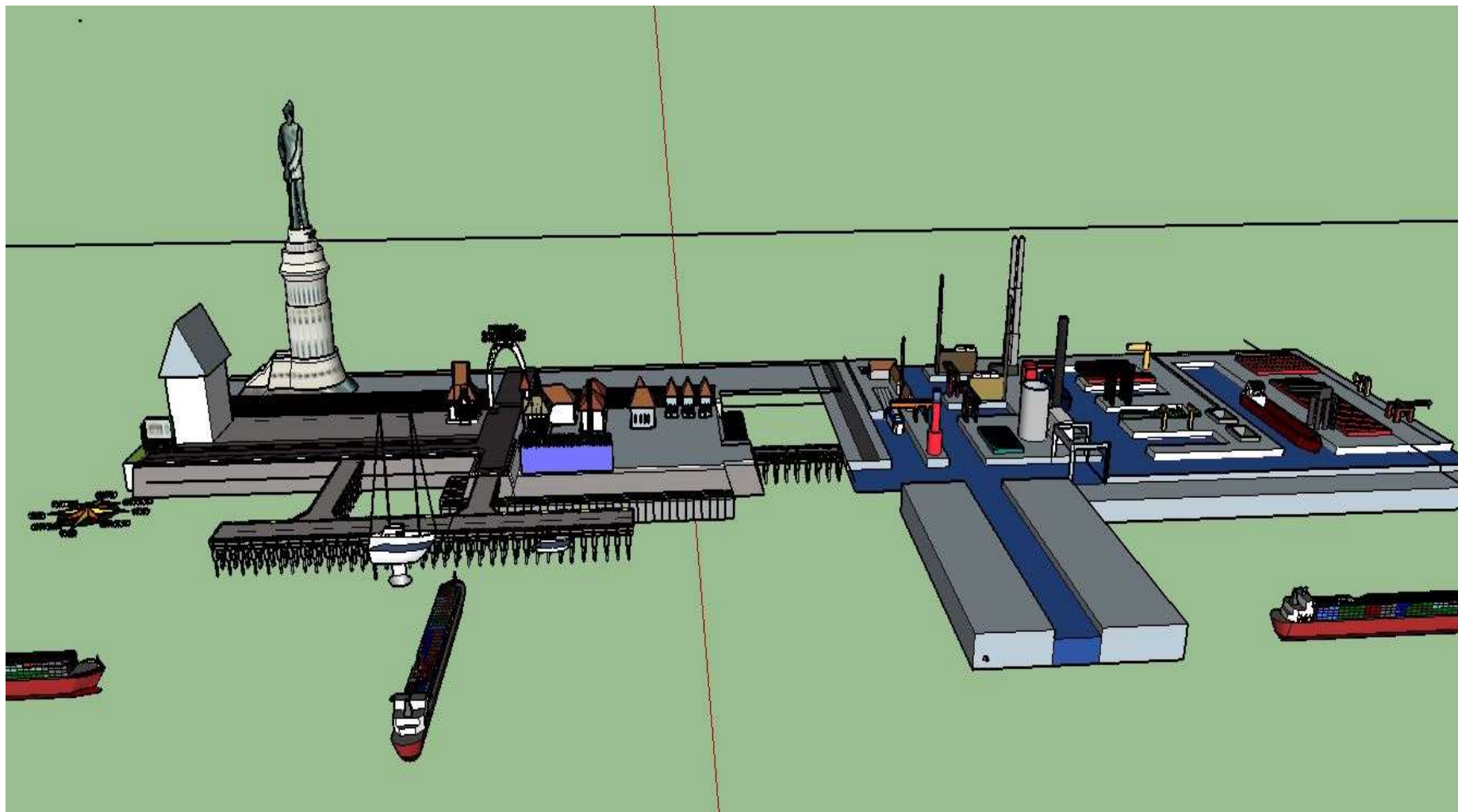
### **3D MODEL**











## BIODATA PENULIS



**GEDE BAYU BANDIS PRATAMA** dilahirkan di Penarukan, 11 Desember 1995. Penulis merupakan anak ke-1 dari 3 bersaudara dalam keluarga. Dibesarkan di Singaraja dan menamatkan pendidikan formal tingkat SD di SDN 3 Penarukan, tingkat SMP di SMPN 3 Singaraja dan tingkat SMA di SMAN 1 Singaraja hingga melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis aktif berkegiatan di Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) sebagai Staf *Department of Home Affairs* 2014-2015, dan menjadi Wakil Ketua Harian TPKH-ITS tahun 2015-2016. Untuk kepanitiaan dalam acara di Institut antara lain menjadi Koordinator sie Acara LOKARINA SAMPAN 8 ITS tahun 2014, *Steering Committe* dalam acara TPKH GAMES tahun 2015. Penulis juga sempat mengikuti beberapa pelatihan , baik pelatihan pembentukan *soft skill* seperti LKMM dan pelatihan yang menunjang kebutuhan akademis selama perkuliahan, seperti pelatihan perangkat lunak AutoCAD dan Maxsurf.

Email : [bayubandispratama@gmail.com](mailto:bayubandispratama@gmail.com)

Phone : +62 877 6269 7337

